

## 明細書

## ラインパイプの歪硬化特性決定方法

## 技術分野

本発明は、ガス・石油パイプライン等に用いるパイプの歪硬化特性決定方法、パイプの製造方法、パイプ、パイプラインに関する。

## 背景技術

ガスパイプライン、石油パイプラインはエネルギー供給の根幹として建設が進められて来ている。近年では、特に天然ガス需要の増大を背景とし、消費地から遠く離れた地にガス田が開発されることが多い。このため、パイプラインは長距離化の傾向を呈し、大量輸送のために大径化、高圧化の傾向が強まってきている。

かかるパイプラインの設計に焦点を当てたパイプライン建設のフローチャートを図13に示す。従来のパイプラインの設計は、大きく（１）システム設計と（２）構造設計に分類される。システム設計では、プロジェクト規模を表す輸送量と輸送距離を前提条件として、パイプラインの操業コストと建設コストが最小になるように、パイプの種類、管径、管厚、操業圧力が仮設定される。構造設計では、システム設計で仮設定されたパイプの強度、形状および敷設場所の地形等から敷設時に想定されるパイプラインの形状である敷設線形に基づいて、地震時に発生する地盤変位などを考慮して構造解析を実施し、許容応力照査、許容歪照査、局部座屈照査を行う。

システム設計で仮設定されたパイプの諸元がこれらの照査条件を満足しない場合、再びシステム設計に戻ってパイプの諸元を再設定する。そして、上記照査条件を満足したときに当該システム設計で仮設定された諸元でパイプのスペックを確定し、鉄鋼会社にパイプの製造を発注する。受注した鉄鋼会社は、パイプライン会社の発注仕様に従ってラインパイプを製造して納入する。

局部座屈照査とは、システム設計で仮設定された条件によるパイプが、当該パイプラインが敷設される条件下で想定される最大圧縮歪および最大曲げひずみに耐えるのに十分な局部座屈性能を備えているかどうかを照査するものである。具体的には、設計されたパイプの局部座屈歪を求め、この局部座屈歪がパイプラインに発生する最大歪よりも大きいか

否かで判断する。

ところで、この設計されたパイプの局部座屈歪の求め方は以下のようにしていた。  
パイプの圧縮局部座屈歪は一般的に、圧縮局部座屈歪＝係数（管厚／管径）<sup>指数</sup>、のよう  
に表されている。そして、上記関係式における係数及び指数は、実管の圧縮局部座屈実験  
データを図 1 4 に示すようにプロットし、実験データの下限を包絡するように曲線を描き、  
この下限包絡曲線にフィットするようにして求める。

上述の実管の座屈実験に基づいて取得された局部座屈歪推定式を表 1 に示す。

表1

出典	式	S-Sカーブ
<i>Sherman</i> (1976)	$\varepsilon_{cr} = 16(t/D)^2$	
<i>Murphy and</i> <i>Langner</i> (1985)	$\varepsilon_{cr} = 0.5(t/D)$	連続硬化モデル
	$\varepsilon_{cr} = 0.33(t/D)$	降伏棚モデル
<i>Gresnigt</i> (1986)	$\varepsilon_{cr} = 0.5(t/D) - 0.0025 + 3000(pD/2Et)^2$	
<i>Stephens</i> <i>Et al.</i> (1991)	$\varepsilon_{cr} = 2.42(t/D)^{1.59}$	

なお、表 1 に示す現行の設計基準で規定されている局部座屈歪推定式は、X65（米  
国の API (American Petroleum Institute) 規格による強度グレード）以下のパイプの実  
験データに基づいている。図 1 3 において適用範囲を X65 以下のラインパイプと限定して  
あるのはこのためである。

なお、表 1 に示されるものの他、「高圧ガス導管耐震設計指針（改定版）」（社団法人 日  
本ガス協会発行、2000 年 3 月、39 頁）に下記の局部座屈歪推定式が開示されている。

$$\varepsilon = 35 (t/D) (\%)$$

このように実管の座屈実験に基づいて局部座屈歪推定式が取得されていることから、局  
部座屈照査においては、この推定式に基づいて圧縮局部座屈歪を求め、これが最大歪より  
大きいかな否かを判断するのである。そして、最大歪よりも小さい場合にはシステム設計に  
戻って条件を再設定する。このときの再設定の方法としては、圧縮局部座屈歪＝係数（管

厚／管径）<sup>指数</sup>の関係があることから管厚を増加することでパイプの局部座屈歪を増加させるようにしている。

上記は、局部座屈歪推定式が取得されている X65 以下のラインパイプについてであるが、局部座屈歪推定式が存在しない X70 以上の鋼種をパイプラインに採用する場合には、図 15 に示すように、サンプル管を試作して局部座屈実験を実施し、当該パイプの局部座屈歪を取得する。そして、取得したパイプの局部座屈歪が、最大歪よりも大きいかな否かを判断する。この場合にも、小さい場合には、X65 以下の場合と同様に、管厚を増加させたサンプル管を再度製造して照査を行っている。

#### 発明の開示

前述のように、従来のパイプラインの設計では、局部座屈照査を実験式に基づいて行い、局部座屈照査で不可と判断された場合には、管厚を増すことにより局部座屈歪を増加させている。このため、以下のような問題がある。

##### (1) 局部座屈照査を実験式に基づいて行っていることによる問題

前記のように、現行の設計指針や設計基準等では X65 以下のパイプの座屈歪推定式は座屈歪＝係数（管厚／管径）<sup>指数</sup>のように表され、「係数」と「指数」は実管の座屈実験で得られる安全側の値である。しかも、表 1 及び図 14 から分かるように、実験結果及びこれに基づく式自体に大きなばらつきがある。

このように実験結果自体に大きなばらつきがあり、しかも安全側の実験値に基づく座屈歪推定式によって圧縮局部座屈歪を求めて局部座屈照査を行ったのでは、場合によっては実際には許容できるものまで、安全側に判断しすぎて適正な判断がなされない可能性が高い。この場合、本来なら許容できるにも拘らず不可とされ、さらに安全側のスペックが要求されるので、オーバースペックとなり、コスト高となるという問題がある。

##### (2) 管厚を増すことにより局部座屈歪を増加させていることの問題

近年の新しいパイプラインは長距離化の傾向を呈し、大量輸送のために大径化、高圧化の傾向が強まってきている。このような新しいパイプラインでは、高強度鋼管を適用して大口径でも薄い管厚で高い内圧に耐えられることが要求されるようになってきている。管厚を薄くすることによって、現地における溶接費やパイプの輸送費が低減されパイプラインの建設および操業のトータルコストの低減が図られるからである。

このようなことから高強度のパイプが要請されるのであるが、パイプライン用鋼管は、高強度であるほど降伏比（ $Y/T$ ：引張強度 $T$ と降伏応力 $Y$ との比）が増加する傾向にある。

一方、管径と管厚が同一であることを前提とすれば、降伏比が高いほど局部座屈歪は減少するため、高強度なパイプほど局部座屈歪が減少する傾向にある。このため、パイプの局部座屈歪を増加させる必要があるが、この必要性を満たすために管厚を増すという手段を講じたのでは、せっかく高強度のパイプを用いて、管厚を薄くしてパイプラインの建設および操業のトータルコストを低減しようとしたことに反することになる。

以上のように、従来のパイプラインの設計方法では、局部座屈照査が適切でなく、また、局部座屈歪を増加させる手段として管厚の増加のみによっていたことから、パイプラインのコスト高を招いていたのである。このような事情は、パイプラインに限ったことなく鋼管等を用いる建築資材においても言えることである。

なお、上記は座屈歪推定式のある X65 以下のパイプについてであるが、座屈歪推定式のない X70 以上のパイプについては、実管の試作が必要となり手間がかかるし、また、局部座屈歪を増すために管厚を増す点は同様であり、X65 以下のパイプの場合と同様の問題がある。

また、パイプラインの構造設計では、パイプの圧縮局部座屈歪の他に曲げ局部座屈歪が必要になる。圧縮局部座屈歪は前記のように基礎式が求められているが、曲げ局部座屈歪は基礎式が求められていない。そのため、上記 X70 以上のパイプと同様に実管による実験値によることになり、上記 X70 以上のパイプで述べたのと同様の問題がある。

本発明はかかる課題を解決するためになされたものであり、安全性を確保しつつコスト低減が可能なパイプの歪硬化特性決定方法を得ることを目的としている。

また、該パイプの歪硬化特性決定方法を用いたパイプの製造方法、さらには該パイプの製造方法によって製造されたパイプ及びパイプラインを得ることを目的としている。

従来のパイプラインの設計は、システム設計で設定された管径と管厚を基に推定式等で局部座屈歪を推定し、この推定値が要求値より小さい場合は管厚を増すというものである。しかし、この方法では推定式自体が実験式であり、必ずしも経済性と安全性の両方を満たすものとはいえず、この実験値に基づく推定式を使った局部座屈推定値を基準とする限り、必ずしも経済性と安全性の両方を満たすパイプ設計は出来ない。

そこで、発明者は、システム設計された管径と管厚を与えてパイプの局部座屈歪を推定するというようにパイプに要求される局部座屈歪を推定するという発想から、システム設計等によって求められた管径、管厚に加えて要求される局部座屈歪をも予め与え、この条件を満足するようなパイプの材質設計をするというように要求される局部座屈歪を予め与えるという発想に転換し、さらに、この材質設計には従来の構造設計では着目されていなかった新しいパラメータを活用することが有効であるとの知見を得た。そして、さらに検討を加えた結果、新しいパラメータとして、パイプの歪硬化特性がパイプの局部座屈挙動に大きく影響するパラメータであることを見出して本発明を完成させたものである。ここに歪硬化特性とは、応力の増加に対する歪の増加の程度あるいは歪の増加に対する応力の増加の程度を表すパラメータであり、例えば座屈点における応力歪曲線の接線の傾きとして、あるいは応力歪曲線における座屈点と補助点を組み合わせた複数点間の応力関係として与えられるものである。

(1) 本発明に係るパイプの歪硬化特性決定方法は、パイプの直径 $D$ 、管厚 $t$ 、当該パイプの要求圧縮局部座屈歪 $\varepsilon_{req}$ を設定するパイプ条件設定工程と、パイプ条件設定工程で設定した条件を満たすべきパイプの座屈点近傍における歪硬化特性を求める歪硬化特性取得工程と、前記歪硬化特性を前記パイプの応力歪曲線が満たすべき条件とする工程と、を有するものである。

ここで「座屈点近傍における」とするのは、後述のように、仮想的な座屈点と接線係数 $E_{Tcr}$ を計算するために座屈点近傍に設ける補助点とを用いて求められる複数点間の部分的な応力関係を、ここでいう「歪硬化特性」に含める趣旨である。

(2) また、パイプラインにて輸送する加圧流体の少なくとも輸送量及び輸送距離に基づいて、前記パイプラインに用いるパイプの直径 $D$ 、管厚 $t$ 及び輸送圧力を仮決めするパイプ条件設定工程と、前記仮決めされた直径及び管厚を有するパイプに敷設線形を考慮してパイプラインを構造設計し、構造設計されたパイプラインに前記輸送圧力、地盤変位及び又は外力が作用したときに前記パイプに発生する最大圧縮軸歪を求める最大圧縮軸歪算出工程と、前記最大圧縮軸歪に基づいて要求圧縮局部座屈歪 $\varepsilon_{req}$ を設定する要求圧縮局部座屈歪設定工程と、前記直径 $D$ 、管厚 $t$ 及び要求圧縮局部座屈歪 $\varepsilon_{req}$ の各条件全てを満たすべきパイプの座屈点近傍における歪硬化特性を求める歪硬化特性取得工程と、前記歪硬化特性を前記パイプの応力歪曲線が満たすべき条件とする工程と、を有するものである。

パイプラインが曲げ変形を受ける場合には、曲げ局部座屈に対する安全性をパイプラインに付与する必要がある。しかし、パイプの曲げ局部座屈歪を計算する解析解は求められていない。そこで、パイプの圧縮局部座屈歪と曲げ局部座屈歪の関係（比率）を有限要素解析などにより定量的に求めておき、この定量的な比率を使って、要求曲げ局部座屈歪を要求圧縮局部座屈歪に変換し、この要求圧縮局部座屈歪に基づいて上記の手段を用いることで、以下のようにパイプラインが曲げ変形を受ける場合におけるパイプの材質設計をすることができる。図7はパイプの圧縮局部座屈歪と曲げ局部座屈歪のそれぞれを有限要素解析によって求め、同一座標上にプロットしたものである。この例では、管径  $D$  と管厚  $t$  の比  $D/t$  が 50、60 のそれぞれについて、降伏比 ( $Y/T$ ) (引張強度  $T$  と降伏応力  $Y$  との比) が 0.80、0.85、0.90、0.93 のものについての解析例である。図7から、圧縮局部座屈歪と曲げ局部座屈歪には安全側に評価して 1:2 の関係があることが分かる。

(3) パイプラインが曲げ変形を受ける場合のパイプの歪硬化特性決定方法は、パイプの直径  $D$ 、管厚  $t$ 、当該パイプの要求曲げ局部座屈歪を設定するパイプ条件設定工程と、曲げ局部座屈歪と圧縮局部座屈歪の定量的な関係から、前記要求曲げ局部座屈歪を要求圧縮局部座屈歪  $\epsilon_{req}$  に変換する局部座屈歪変換工程と、前記直径  $D$ 、管厚  $t$  及び要求圧縮局部座屈歪  $\epsilon_{req}$  の各条件全てを満たすべきパイプの座屈点近傍における歪硬化特性を求める歪硬化特性取得工程と、前記歪硬化特性を前記パイプの応力歪曲線が満たすべき条件とする工程と、を有するものである。

(4) また、パイプラインにて輸送する加圧流体の少なくとも輸送量及び輸送距離に基づいて、前記パイプラインに用いるパイプの直径  $D$ 、管厚  $t$  及び輸送圧力を仮決めするパイプ条件設定工程と、前記仮決めされた直径及び管厚を有するパイプに敷設線形を考慮してパイプラインを構造設計し、構造設計されたパイプラインに前記輸送圧力、地盤変位及び又は外力が作用したときに前記パイプに発生する最大曲げ歪を求める最大曲げ歪算出工程と、該最大曲げ歪に基づいて要求曲げ局部座屈歪を設定し、さらに曲げ局部座屈歪と圧縮局部座屈歪の定量的な関係から、要求曲げ局部座屈歪を要求圧縮局部座屈歪  $\epsilon_{req}$  に変換する局部座屈歪変換工程と、前記直径  $D$ 、管厚  $t$  及び要求圧縮局部座屈歪  $\epsilon_{req}$  の各条件全てを満たすべきパイプの座屈点近傍における歪硬化特性を求める歪硬化特性取得工程と、前記歪硬化特性を前記パイプの応力歪曲線が満たすべき条件とする工程と、を有するものである。

(5) また、上記(1)乃至(4)における歪硬化特性は、要求圧縮局部座屈歪  $\varepsilon_{req}$  に対応する応力歪座標上の仮想的な座屈点を仮定したときに、該仮想的な座屈点における応力歪曲線の接線の傾きを基準として与えられることを特徴とするものである。

(6) また、上記(5)における歪硬化特性を  $H$ 、接線の傾きを  $E_{Treq}$  としたときに、歪硬化特性  $H$  が下式を満たすことを特徴とするものである。

$$H = \frac{E_{Treq}}{\sigma_{req}} \geq \frac{9}{16} \varepsilon_{req} \left( \frac{D}{t} \right)^2 \quad (1.1)$$

但し、 $\sigma_{req}$  は応力歪曲線上で  $\varepsilon_{req}$  に対応する点の応力である。

ここで、上記(6)の(1.1)式について説明する。

圧縮力を受けるパイプの座屈歪を表す基礎式として、下記(1.2)式がある。

$$\varepsilon_{cr} = \frac{2}{\sqrt{3(1-\nu^2)}} \sqrt{\frac{E_{Tcr}}{E_{Scr}}} \frac{t}{D} \quad (1.2)$$

(1.2)式において、 $\varepsilon_{cr}$  は圧縮局部座屈歪、 $\nu$  はポアソン比、 $t$  はパイプの厚み、 $D$  はパイプの径をそれぞれ示している。また、 $E_{scr}$  は、連続硬化型の応力歪曲線を示した図8において、原点と座屈点とを結ぶ線の傾き(以下、「割線係数」という)を示し、 $E_{Tcr}$  は座屈点における応力歪曲線の傾き(以下、「接線係数」という)を示している。

(1.2)式において、塑性変形する場合のポアソン比  $\nu$  として0.5を代入して整理すると下式(1.3)式となる。

$$\varepsilon_{cr} = \frac{4}{3} \sqrt{\frac{E_{Tcr}}{E_{Scr}}} \frac{t}{D} \quad (1.3)$$

(1.3)式の両辺を二乗して  $E_{Tcr}$  について解くと次式(1.4)が得られる。

$$E_{Tcr} = \frac{9}{16} E_{Scr} \varepsilon_{cr}^2 \left( \frac{D}{t} \right)^2 \quad (1.4)$$

また、応力歪曲線上における  $\varepsilon_{cr}$  に対応する応力を  $\sigma_{cr}$  とすれば、 $E_{scr} = \sigma_{cr} / \varepsilon_{cr}$  であるから(図8参照)、(1.4)式は次式のように表される。

$$E_{Tcr} = \frac{9}{16} \sigma_{cr} \varepsilon_{cr} \left( \frac{D}{t} \right)^2 \quad (1.5)$$

ここで、要求値として入力する要求局部座屈歪の値は局部座屈歪  $\varepsilon_{cr}$  以上の値となるので、局部座屈歪  $\varepsilon_{cr}$  と区別するために要求局部座屈歪  $\varepsilon_{req}$  と表記する。また、要求局部座屈歪  $\varepsilon_{req}$  を用いたときに、求められる接線係数は要求条件を満足させる最小値である。したがって、(1.5) 式にこれらの条件を加味すると、応力歪曲線が満たすべき条件としての  $E_{Treq}$  は下記 (1.6) 式となる。

$$E_{Treq} \geq \frac{9}{16} \sigma_{req} \varepsilon_{req} \left( \frac{D}{t} \right)^2 \quad (1.6)$$

(1.6) 式において  $\sigma_{req}$  は応力歪曲線上で  $\varepsilon_{req}$  に対応する点の応力である。(1.6) 式の右辺には  $\varepsilon_{req}$  の従属変数である  $\sigma_{req}$  が含まれている。そこで、右辺を仮決め値および要求値の関数として整理し、左辺に従属変数  $\sigma_{req}$  と要求値である接線係数  $E_{req}$  を配置すると (1.7) 式となり、これが上記 (6) に示したものである。

$$H = \frac{E_{Treq}}{\sigma_{req}} \geq \frac{9}{16} \varepsilon_{req} \left( \frac{D}{t} \right)^2 \quad (1.7)$$

なお、上記の説明においては、(1.2) 式にポアソン比  $\nu$  として 0.5 を代入して (1.3) 式の定数を  $4/3$  としたが、種々の事情によりポアソン比  $\nu$  として 0.5 以外の数値を代入する可能性もあり、その場合には (1.3) 式の定数  $4/3$  は変動する。したがって、(1.3) 式は一般的には  $A$  を定数として下記 (1.8) 式のように表現できる。同様に、(1.7) 式、後述の (2.1) 式、(4.1) 式、(5.9) 式の定数  $9/16$  は、 $1/A^2$  と置き換えることができ、(3.9) 式の定数  $9/32$  は  $1/(2A^2)$  と置き換えることができる。

$$\varepsilon_{cr} = A \sqrt{\frac{E_{Tcr}}{E_{Scr}}} \frac{t}{D} \quad (1.8)$$

(7) 本発明の他のパイプの歪硬化特性決定方法は、上記 (1) ~ (4) のものにおける歪硬化特性が、要求圧縮局部座屈歪  $\varepsilon_{req}$  に対応する応力歪座標上の仮想的な座屈点及び当該座屈点から歪値が離れた位置にある 1 以上の補助点を仮定したときに、前記仮想的な座屈点と前記 1 以上の補助点とを用いて複数点間の部分的な応力関係として与えられることを特徴とするものである。



歪硬化特性が複数点間の部分的な応力関係として与えられることにより、例えば既存の製造方法によって製造されるパイプが要求する歪硬化特性を満たすかどうかの判定が容易になる。すなわち、既存の製造方法によって製造されるパイプの応力歪関係は点列として与えられていることから、要求する歪硬化特性を複数点間の部分的な応力関係として与えることで、既存のデータとの比較が容易となり、上記判定を簡便に行うことができる。

(8) また、(7)における複数点間の部分的な応力関係が、下式を満たすことを特徴とするものである。

$$H = \frac{\sigma_2}{\sigma_{req}} \geq 1 + \frac{9}{16} \varepsilon_{req} (\varepsilon_2 - \varepsilon_{req}) \left( \frac{D}{t} \right)^2 \quad (2.1)$$

但し、

$\varepsilon_{req}$  : 要求圧縮局部座屈歪

$\sigma_{req}$  : 応力歪曲線上で  $\varepsilon_{req}$  に対応する点の応力

$\varepsilon_2$  : 補助点 2 における歪

$\sigma_2$  : 応力歪曲線上で  $\varepsilon_2$  に対応する点の応力

(補助点 2 における応力)

ここで、上記 (8) の (2.1) 式について説明する。

想定される連続硬化型応力歪曲線を図 9 に示す。図 9 の横軸はパイプの圧縮軸歪、縦軸は圧縮軸応力を表している。横軸上の  $\varepsilon_{cr}$  は要求圧縮局部座屈歪、 $\varepsilon_2$  は  $\varepsilon_{cr}$  の右側に任意間隔で設定される補助点 2 の歪である。横軸上の  $\varepsilon_{cr}$  と  $\varepsilon_2$  に対応する応力歪曲線上の点をそれぞれ座屈点 C、補助点 2 と呼ぶ。座屈点 C および補助点 2 における応力をそれぞれ  $\sigma_{cr}$  および  $\sigma_2$  と表す。割線係数  $E_{scr}$  は座標原点と座屈点 C を結んだ線分の勾配で表される。座屈点 C と補助点 2 の応力関係が線形関係であると仮定すれば、接線係数および割線係数は次式のように表される。

$$E_{Tcr} = \frac{\sigma_2 - \sigma_{cr}}{\varepsilon_2 - \varepsilon_{cr}} \quad (2.2)$$

$$E_{scr} = \frac{\sigma_{cr}}{\varepsilon_{cr}} \quad (2.3)$$

パイプの局部座屈歪は前出のように、下記(2.4)式で与えられる。

$$\varepsilon_{cr} = \frac{4}{3} \sqrt{\frac{E_{Tcr}}{E_{Scr}}} \frac{t}{D} \quad (2.4)$$

(2.4)式に(2.2)式及び(2.3)式を代入して整理すると、下記(2.5)式が得られる。

$$\varepsilon_{cr} = \frac{16}{9\sigma_{cr}} \frac{\sigma_2 - \sigma_{cr}}{\varepsilon_2 - \varepsilon_{cr}} \left( \frac{t}{D} \right)^2 \quad (2.5)$$

ここで、前述の(6)の場合と同様に、要求値として入力する要求局部座屈歪を局部座屈歪  $\varepsilon_{cr}$  と区別するために要求局部座屈歪を  $\varepsilon_{req}$  と表記する。また、応力歪曲線上における要求局部座屈歪  $\varepsilon_{req}$  に対応する応力を  $\sigma_{req}$  として、(2.5)式の右辺を仮決め値および要求値の関数として整理すると、下記(2.6)式となる。

$$\frac{\sigma_2}{\sigma_{req}} = 1 + \frac{9}{16} \varepsilon_{req} (\varepsilon_2 - \varepsilon_{req}) \left( \frac{D}{t} \right)^2 \quad (2.6)$$

(2.6)式は最低値を示すものであるから、結局、パイプの応力歪線図が満たすべき条件としての複数点間の部分的な応力関係としては、下記(2.7)式となり、これが上記(2.1)式と同一のものである。

$$H = \frac{\sigma_2}{\sigma_{req}} \geq 1 + \frac{9}{16} \varepsilon_{req} (\varepsilon_2 - \varepsilon_{req}) \left( \frac{D}{t} \right)^2 \quad (2.7)$$

(9) また、本発明に係る他のパイプの歪硬化特性決定方法は、上記(7)のものにおいて複数点間の部分的な応力関係が、下記(3.1)を満たすことを特徴とするものである。

$$H = \frac{2\sigma_{req} + (\sigma_2 - \sigma_1)}{2\sigma_{req}} \geq \left\{ 1 + \frac{9}{32} (\varepsilon_2 - \varepsilon_1) \varepsilon_{req} \left( \frac{D}{t} \right)^2 \right\} \quad (3.1)$$

但し、

$\varepsilon_1, \varepsilon_2$  : 座屈点を挟む補助点 1 と 2 における歪

$\sigma_{req}$  : 応力歪曲線上で  $\varepsilon_{req}$  に対応する座屈点の応力

$\sigma_1, \sigma_2$  : 応力歪曲線上で  $\varepsilon_1, \varepsilon_2$  に対応する点の応力  
(補助点 1 と 2 における応力)

ここで、上記 (9) の (3.1) 式について説明する。

想定される連続硬化型応力歪曲線を図 10 に示す。図 10 の横軸はパイプの圧縮軸歪、縦軸は圧縮軸応力を表している。横軸上の  $\varepsilon_{cr}$  は圧縮局部座屈歪、 $\varepsilon_1$  と  $\varepsilon_2$  は  $\varepsilon_{cr}$  の左右に任意間隔で設定される補助点 1 と 2 の歪である。なお、 $\varepsilon_{cr}$  と  $\varepsilon_1$  の間隔と、 $\varepsilon_{cr}$  と  $\varepsilon_2$  の間隔は等間隔とする。

横軸上の  $\varepsilon_{cr}$ 、 $\varepsilon_1$  および  $\varepsilon_2$  に対応する応力歪曲線上の点をそれぞれ座屈点 C、補助点 1 および補助点 2 と呼ぶ。座屈点 C、補助点 1 および補助点 2 に対応する縦軸の応力をそれぞれ  $\sigma_{cr}$ 、 $\sigma_1$  および  $\sigma_2$  と表記する。さらに、A 点は 1 点と C 点の中点、B 点は C 点と 2 点の中点をそれぞれ表している。A 点と B 点に対応する横軸の歪を  $\varepsilon_A$ 、 $\varepsilon_B$  と表すが、それぞれの値は、 $\varepsilon_1$  と  $\varepsilon_{cr}$ 、 $\varepsilon_{cr}$  と  $\varepsilon_2$  の平均値となる。この  $\varepsilon_A$  と  $\varepsilon_B$  に対応する縦軸の応力はそれぞれ  $\sigma_A$ 、 $\sigma_B$  である。これらの関係を式で表すと下記 (3.2) 式～(3.5) 式となる。

$$\sigma_A = \frac{1}{2}(\sigma_1 + \sigma_{cr}) \quad (3.2)$$

$$\sigma_B = \frac{1}{2}(\sigma_{cr} + \sigma_2) \quad (3.3)$$

$$\varepsilon_A = \frac{1}{2}(\varepsilon_1 + \varepsilon_{cr}) \quad (3.4)$$

$$\varepsilon_B = \frac{1}{2}(\varepsilon_{cr} + \varepsilon_2) \quad (3.5)$$

座屈点 (C 点) における接線係数  $E_{tcr}$  と割線係数  $E_{cr}$  は次式で表される。

$$E_{T\sigma} = \frac{\sigma_B - \sigma_A}{\varepsilon_B - \varepsilon_A} = \frac{\sigma_2 - \sigma_1}{\varepsilon_2 - \varepsilon_1} \quad (3.6)$$

$$E_{S\sigma} = \frac{\sigma_{\sigma}}{\varepsilon_{\sigma}} \quad (3.7)$$

(1.2)式の両辺を二乗して(3.6)式と(3.7)式を代入して整理すると(3.8)式が得られる。

$$\frac{2\sigma_{\sigma} + (\sigma_2 - \sigma_1)}{2\sigma_{\sigma}} = 1 + \frac{9}{32}(\varepsilon_2 - \varepsilon_1)\varepsilon_{\sigma} \left(\frac{D}{t}\right)^2 \quad (3.8)$$

ここで、前述の(6)の場合と同様に、要求値として入力する要求局部座屈歪を局部座屈歪 $\varepsilon_{cr}$ と区別するために要求局部座屈歪 $\varepsilon_{req}$ と表記する。また、応力歪曲線上における要求局部座屈歪 $\varepsilon_{req}$ に対応する応力を $\sigma_{req}$ とする。(3.8)式は最低値を示すものであるから、結局、パイプの応力歪曲線が満たすべき複数点間の部分的な応力関係としては、下記(3.9)式となり、これが上記(3.1)式と同一のものである。

$$H = \frac{2\sigma_{req} + (\sigma_2 - \sigma_1)}{2\sigma_{req}} \geq 1 + \frac{9}{32}(\varepsilon_2 - \varepsilon_1)\varepsilon_{req} \left(\frac{D}{t}\right)^2 \quad (3.9)$$

(10) また、本発明に係る他のパイプの歪硬化特性決定方法は、上記(7)のものにおいて複数点間の部分的な応力関係が、下記(4.1)式を満たすことを特徴とするものである。

$$H = \frac{\sigma_2}{\sigma_{req}} \geq \left\{ 1 + \frac{9}{16} \log_e \left( \frac{\varepsilon_2}{\varepsilon_{req}} \right) \varepsilon_{req}^2 \left( \frac{D}{t} \right)^2 \right\} \quad (4.1)$$

但し、

$\varepsilon_{req}$ ：要求圧縮局部座屈歪

$\sigma_{req}$ ：応力歪曲線上で $\varepsilon_{req}$ に対応する座屈点の応力

$\varepsilon_2$ ：補助点2における歪

$\sigma_2$ ：応力歪曲線上で $\varepsilon_2$ に対応する点の応力  
(補助点2における応力)

(4.1)式について説明する。

応力歪曲線の全体を単一の累乗関数で表すと、下記(4.2)式となる。

$$\sigma = A \varepsilon^n \quad (4.2)$$

ここに、 $\sigma$  は応力、 $\varepsilon$  は歪、 $A$  は係数、 $n$  は歪硬化指数である。

パイプの応力歪関係を累乗硬化則で (4.2) 式のように表すと、接線係数  $E_T$  と割線係数  $E_S$  はそれぞれ次式のように表される。

$$\sigma = A \varepsilon^n \quad (4.3)$$

$$E_T = \frac{d\sigma}{d\varepsilon} = An\varepsilon^{n-1} \quad (4.4)$$

$$E_S = \frac{\sigma}{\varepsilon} = \frac{A\varepsilon^n}{\varepsilon} = A\varepsilon^{n-1} \quad (4.5)$$

したがって、パイプの座屈歪を表す基礎式 (1.3) 式の根号は次式のように表される。

$$\sqrt{\frac{E_T}{E_S}} = \sqrt{\frac{An\varepsilon^{n-1}}{A\varepsilon^{n-1}}} = \sqrt{n} \quad (4.6)$$

(4.6) 式を (1.2) 式に代入すると、座屈歪は次式のように得られる。

$$\varepsilon_{cr} = \frac{4}{3} \sqrt{\frac{E_{Tcr}}{E_{Scr}}} \frac{t}{D} = \frac{4}{3} \sqrt{n} \frac{t}{D} \quad (4.7)$$

応力歪関係が上記 (4.2) で表される場合、図 1 1 に示すように応力歪関係を両対数軸上にプロットし、点  $\varepsilon_{cr}$  の右側に  $\varepsilon_2$  (補助点 2) を設けると、歪硬化指数  $n$  は次式で計算される。

$$n_{cr} = \frac{\log \sigma_2 - \log \sigma_{cr}}{\log \varepsilon_2 - \log \varepsilon_{cr}} = \frac{\log(\sigma_2 / \sigma_{cr})}{\log(\varepsilon_2 / \varepsilon_{cr})} \quad (4.8)$$

ここで、応力歪関係は単調増加関数であり、本明細書で検討している塑性域における局部座屈の場合には、上式右边分子の二点の応力関係は次の (4.94) 式のようになる。

$$1.0 \leq \frac{\sigma_2}{\sigma_{cr}} \approx 1.0 \quad (4.9)$$

また、対数関数において  $x$  が正数で 0 に近い微小量  $x$  に対して次の (4.10) 式のように近

似できる。

$$\log(1+x) \cong x \quad (4.10)$$

したがって、(4.8) 式における右辺分子は次式のように近似することができる。

$$\log \frac{\sigma_2}{\sigma_{cr}} = \log \left( 1 + \left( \frac{\sigma_2}{\sigma_{cr}} - 1 \right) \right) \cong \frac{\sigma_2}{\sigma_{cr}} - 1 \quad (4.11)$$

(4.11) 式を (4.8) 式に代入すると、

$$n_{cr} \cong \frac{1}{\log(\varepsilon_2 / \varepsilon_{cr})} \left( \frac{\sigma_2}{\sigma_{cr}} - 1 \right) \quad (4.12)$$

上式を (4.7) 式に代入して両辺を二乗すると、次式が得られる。

$$\varepsilon_{cr}^2 = \frac{16}{9} n_{cr}^2 \left( \frac{t}{D} \right)^2 = \frac{16}{9} \frac{1}{\log(\varepsilon_2 / \varepsilon_{cr})} \left( \frac{\sigma_2}{\sigma_{cr}} - 1 \right) \left( \frac{t}{D} \right)^2 \quad (4.13)$$

さらに式を整理すると、

$$\frac{\sigma_2}{\sigma_{cr}} = 1 + \frac{16}{9} \log \left( \frac{\varepsilon_2}{\varepsilon_{cr}} \right) \varepsilon_{cr}^2 \left( \frac{D}{t} \right)^2 \quad (4.14)$$

ここで、前述の (6) の場合と同様に、要求値として入力する要求局部座屈歪を局部座屈歪  $\varepsilon_{cr}$  と区別するために要求局部座屈歪  $\varepsilon_{req}$  と表記する。また、応力歪曲線上における要求局部座屈歪  $\varepsilon_{req}$  に対応する応力を  $\sigma_{req}$  とする。(4.14) 式は最低値を示すものであるから、結局、パイプの応力歪曲線が満たすべき複数点間の部分的な応力関係としては、下記(4.15)式となり、これが上記(4.1)式と同一のものである。

$$H = \frac{\sigma_2}{\sigma_{req}} \geq 1 + \frac{16}{9} \log \left( \frac{\varepsilon_2}{\varepsilon_{req}} \right) \varepsilon_{req}^2 \left( \frac{D}{t} \right)^2 \quad (4.15)$$

(11) また、本発明に係る他のパイプの歪硬化特性決定方法は、上記(7)のものにおいて複数点間の部分的な応力関係が、下記(5.1)式を満たすことを特徴とするものである。

$$\frac{\sigma_2 + \sigma_{req}}{\sigma_1 + \sigma_{req}} \geq \left\{ 1 + \frac{9}{16} \log_e \left( \frac{\varepsilon_2 + \varepsilon_{req}}{\varepsilon_1 + \varepsilon_{req}} \right) \varepsilon_{req}^2 \left( \frac{D}{t} \right)^2 \right\} \quad (5.1)$$

但し、

$\varepsilon_1, \varepsilon_2$  : 座屈点を挟む補助点 1 と 2 における歪

$\sigma_{req}$  : 応力歪曲線上で  $\varepsilon_{req}$  に対応する点の応力

$\sigma_1, \sigma_2$  : 応力歪曲線上で  $\varepsilon_1, \varepsilon_2$  に対応する点の応力  
(補助点 1 と 2 における応力)

ここで、上記 (11) の (5.1) 式について説明する。

想定される連続硬化型応力歪曲線を図 12 に示す。図 12 の横軸はパイプの圧縮軸歪、縦軸は圧縮軸応力を表している。

応力歪関係を累乗関数で表した場合も、上述の線形関係で現した場合と同等に、横軸上(歪軸上)における  $\varepsilon_{cr}$ 、 $\varepsilon_1$  および  $\varepsilon_2$  に対応する応力歪曲線上の点と応力をそれぞれ座屈点 C ( $\sigma_{cr}$ )、補助点 1 ( $\sigma_1$ ) および補助点 2 ( $\sigma_2$ ) とすると、次式の関係が得られる。

$$\sigma_A = \frac{1}{2}(\sigma_1 + \sigma_{cr}) \quad (5.2)$$

$$\sigma_B = \frac{1}{2}(\sigma_{cr} + \sigma_2) \quad (5.3)$$

$$\varepsilon_A = \frac{1}{2}(\varepsilon_1 + \varepsilon_{cr}) \quad (5.4)$$

$$\varepsilon_B = \frac{1}{2}(\varepsilon_{cr} + \varepsilon_2) \quad (5.5)$$

歪硬化指数は、二点表示の場合と同様に近似式を採用し、次式で表される。

$$n_{cr} = \frac{\log(\sigma_B / \sigma_A)}{\log(\varepsilon_B / \varepsilon_A)} \equiv \left( \frac{\sigma_B}{\sigma_A} - 1 \right) \frac{1}{\log(\varepsilon_B / \varepsilon_A)} = \frac{(\sigma_{cr} + \sigma_2) / (\sigma_1 + \sigma_{cr}) - 1}{\log\{(\varepsilon_{cr} + \varepsilon_2) / (\varepsilon_1 + \varepsilon_{cr})\}} \quad (5.6)$$

(5.6) 式を (4.7) 式に代入して両辺を二乗すると、次式が得られる。

$$\varepsilon_{\sigma}^2 = \frac{16}{9} n_{\sigma} \left( \frac{t}{D} \right)^2 = \frac{16}{9} \frac{(\sigma_{\sigma} + \sigma_2)/(\sigma_1 + \sigma_{\sigma}) - 1}{\log\{(\varepsilon_{\sigma} + \varepsilon_2)/(\varepsilon_1 + \varepsilon_{\sigma})\}} \left( \frac{t}{D} \right)^2 \quad (5.7)$$

となり、さらに整理すると次式が得られる。

$$\frac{\sigma_{\sigma} + \sigma_2}{\sigma_1 + \sigma_{\sigma}} = 1 + \frac{9}{16} \log \left( \frac{\varepsilon_{\sigma} + \varepsilon_2}{\varepsilon_1 + \varepsilon_{\sigma}} \right) \varepsilon_{\sigma}^2 \left( \frac{D}{t} \right)^2 \quad (5.8)$$

ここで、前述の(6)の場合と同様に、要求値として入力する要求局部座屈歪を局部座屈歪  $\varepsilon_{\sigma}$  と区別するために要求局部座屈歪  $\varepsilon_{req}$  と表記する。また、応力歪曲線上における要求局部座屈歪  $\varepsilon_{req}$  に対応する応力を  $\sigma_{req}$  とする。(5.8)式は最低値を示すものであるから、結局、パイプの応力歪曲線が満たすべき複数点間の部分的な応力関係としては、下記(5.9)式となり、これが上記(5.1)式と同一のものである。

$$H = \frac{\sigma_{req} + \sigma_2}{\sigma_1 + \sigma_{req}} \geq 1 + \frac{9}{16} \log \left( \frac{\varepsilon_{req} + \varepsilon_2}{\varepsilon_1 + \varepsilon_{req}} \right) \varepsilon_{req}^2 \left( \frac{D}{t} \right)^2 \quad (5.9)$$

(12) また、本発明に係る他のパイプの歪硬化特性決定方法は、上記(1)～(11)のものにおいて、歪硬化特性に加え、材料の規格あるいは要求条件によって定まる降伏応力範囲及び引張応力範囲をパイプの応力歪曲線が満たすべき条件としたものである。

このように、降伏応力範囲及び引張応力範囲を条件とすることにより、既存の製造方法によって製造されるパイプの中から設計条件を満たすパイプを選択する場合には、歪硬化特性の検討の前に降伏応力範囲及び引張応力範囲によって絞り込みができるので、パイプの選択が容易になる。また、材質設計に基づいて新たにパイプの製造をする場合にも、降伏応力範囲及び引張応力範囲を条件とすることにより、製造方法の絞り込みができる。

(13) また、上記(1)～(12)のものにおいて、歪硬化特性取得工程で取得された歪硬化特性をパイプの応力歪曲線が満たすべき条件としたときに当該条件を満たす応力歪曲線の示す機械的性質を有するパイプが製造可能か否かを判定する判定工程と、該判定工程において製造可能と判定された場合には、設定あるいは仮決めされた前記パイプの直径及び管厚を採用し、製造不可能と判定された場合には、再びパイプ条件設定工程からやり直すことを特徴とするものである。

(14) また、上記(13)のものにおける判定工程が、既存の製造方法によって製造した場合についての判定と、既存の製造方法では適切なものがない場合に材料の化学成分設



計及び／又はプロセス設計を変更した製造方法についての判定と、を含むことを特徴とするものである。

(15) また、上記(1)～(14)のものにおいて、歪硬化特性に加え、連続硬化型であることをパイプの応力歪曲線が満たすべき条件としたものである。

(16) また、本発明に係るパイプの製造方法は、上記(1)～(14)の何れかに記載のパイプの歪硬化特性決定方法によりパイプの材質設計を行う材質設計工程と、該材質設計工程により得られたパイプの応力歪曲線が満たすべき条件に基づいて、材料の化学成分設計及び又はプロセス設計を行う工程と、を備えたものである。

(17) また、本発明に係るパイプは、上記(16)記載のパイプの製造方法に従って製造されたことを特徴とするものである。

(18) また、本発明に係るパイプラインは、上記(17)記載のパイプを接続して構成されたことを特徴とするものである。

本発明においては、管径、管厚に加えて要求される局部座屈歪をも予め与え、この条件を満足するようなパイプの材質設計をするようにしたので経済性と安全性の両方を満たすパイプの材質設計が可能となる。

そして、このパイプの歪硬化特性決定方法を用いることによって経済性と安全性の両方を満足するパイプの製造方法が実現できる。

さらに、この製造方法によって製造されたパイプ及びこのパイプを接続して構成されるパイプラインは経済性と安全性を満足するものとなる。

#### 図面の簡単な説明

図1は、本発明の実施の形態1を説明するフローチャートである。

図2は、本発明の実施の形態1における地盤の側方流動分布の説明図である。

図3は、本発明の実施の形態1に係る有限要素解析結果を示すグラフである。

図4は、本発明の実施の形態1における判定工程を説明するフローチャートである。

図5は、本発明の実施の形態2における地盤の横ずれ断層の説明図である。

図6は、本発明の実施の形態2に係る有限要素解析結果を示すグラフである。

図7は、パイプの圧縮局部座屈歪と曲げ局部座屈歪の関係を説明する説明図である。

図8は、連続硬化型の応力歪曲線における局部座屈の概念の説明図である。

図 9 は、本発明における応力歪座標上の複数点間の応力関係の説明図である（その 1）。  
図 10 は、本発明における応力歪座標上の複数点間の応力関係の説明図である（その 2）。  
図 11 は、本発明における応力歪座標上の複数点間の応力関係の説明図である（その 3）。  
図 12 は、本発明における応力歪座標上の複数点間の応力関係の説明図である（その 4）。  
図 13 は、一般的なガスパイプライン建設の処理の流れを説明するフローチャートである（その 1）。  
図 14 は、局部座屈歪に関する実験データと設計式の関係の説明図である。  
図 15 は、一般的なガスパイプライン建設の処理の流れを説明するフローチャートである（その 2）。

## 発明を実施するための最良の形態

### 実施の形態 1

図 1 は本発明の一実施の形態に係るパイプの歪硬化特性決定方法を説明するフローチャートである。本実施の形態は、図 1 に示すように、プロジェクト規模によって決定されるパイプラインにて輸送する加圧流体の少なくとも輸送量及び輸送距離に基づいて（S 1）、前記パイプラインに用いるパイプの直径  $D$ 、管厚  $t$  及び輸送圧力を仮決めするパイプ条件設定工程（S 3）と、前記仮決めされた直径及び管厚を有するパイプに敷設線形を考慮してパイプラインを構造設計し、構造設計されたパイプラインに前記輸送圧力、地盤変位及び又は外力が作用したときに前記パイプに発生する最大圧縮軸歪を求める最大圧縮軸歪算出工程（S 5）と、前記最大圧縮軸歪に基づいて要求圧縮局部座屈歪  $\varepsilon_{req}$  を設定する要求圧縮局部座屈歪設定工程（S 7）と、前記直径  $D$ 、管厚  $t$  及び要求圧縮局部座屈歪  $\varepsilon_{req}$  の条件全てを満たすべきパイプの座屈点近傍における歪硬化特性を求める歪硬化特性取得工程（S 9）と、前記歪硬化特性を前記パイプの応力歪曲線の条件とする工程（S 11）と、歪硬化特性取得工程で取得された歪硬化特性をパイプの応力歪曲線の条件としたときに当該条件を満たす応力歪曲線の示す機械的性質を有するパイプが製造可能か否かを判定する判定工程（S 13）とを備えている。

以下、各工程について詳細に説明する。

### パイプ条件設定工程

パイプラインにて輸送する加圧流体の輸送量及び輸送距離を前提として、操業コスト及

び建設コストを最低にすべくパイプの直径 $D$ 、管厚 $t$ 及び輸送圧力を仮決めする。

操業コストは、運転圧力 $P$ 、管径 $D$ の関数であり、また、運転圧力は、輸送量 $Q$ 、管径 $D$ 、輸送距離 $L$ の関数である。また、管径 $D$ は、輸送量 $Q$ 、運転圧力 $P$ 、輸送距離 $L$ の関数である。建設コストは、管径 $D$ 、管厚 $t$ 、材料グレード $TS$ （降伏強度）の関数であり、管厚 $t$ は、輸送圧力 $P$ 、材料グレード $TS$ の関数である。したがって、相互に関連するパラメータを調整して最低コストとなるように、直径 $D$ 、管厚 $t$ 及び輸送圧力を決定する必要がある。

この例では、外径 $D=610.0\text{mm}$ 、管厚 $t=12.2\text{mm}$ 、材料グレード $TS$ ：API 5L X80 とし、設計内圧 $=10\text{MPa}$  と仮決めした。なお、API 5L X80 は、規格最小降伏点（ $YS_{\min}$ ） $551\text{MPa}$ 、引張強度の許容幅  $TS_{\min}=620\text{MPa}$ 、 $TS_{\max}=827\text{MPa}$  である。

#### 最大圧縮軸歪算出工程

本例では地盤の側方流動に対し、曲げ局部座屈しないための歪硬化特性を求める場合を例にあげる。側方流動が発生する際に考慮すべき地盤の変位分布を図2に示す。また、同図には、側方流動によって変形される埋設パイプラインの一般概念を示してある。側方流動による地盤の変位分布は、側方流動の幅 $W$ と最大変位量 $\delta_{\max}$ で表すことができる。実際の耐震設計において、液状化の幅 $W$ を推定することは困難であるため、ここでは、 $W$ を変数として取り扱い、パイプラインに発生する曲げ歪が最大になる $W$ を計算した上で、要求歪硬化特性を求める。この試算例では $\delta_{\max}$ を $2.0\text{m}$ とする。

パイプ条件設定工程で仮決めされた管径 $D$ 、管厚 $t$ 、材料グレード $TS$ 、輸送圧力 $P$ の条件に基づいて図2に示すパイプラインをシェル要素でモデル化し、有限要素解析プログラムによって最大圧縮曲げ歪と最大引張曲げ歪を計算する。なお、地盤のパネ特性は、ガス導管液状化耐震設計指針（2003）に基づいて設定した。また、この段階では、材料の応力歪曲線は、API 規格で規定される規格最小降伏応力（ $SMYS$ ）と規格最小耐力（ $SMTS$ ）を満足するように仮決めする。

有限要素解析プログラムで計算した結果のうち、パイプラインの最大圧縮曲げ歪（正符号）と最大引張曲げ歪（負符号）を図3に示す。図3に示すように、当該パイプラインに発生する最大曲げ歪は、側方流動幅 $W$ が $30\text{m}$ のところで極大値を示している。局部座屈を検討するうえで重要な最大圧縮曲げ歪も $W$ が $30\text{m}$ のところで最大になっておりその値は約2%である。曲げ局部座屈歪と圧縮局部座屈歪とは、圧縮曲げ歪の1/2が圧縮局部歪とな

るという定量的な関係があるので（図 7 参照）、この場合の最大圧縮軸歪は約 1 % である。

#### 要求圧縮局部座屈歪設定工程

最大圧縮軸歪が算出されると、次に、要求圧縮局部座屈歪を決定する。要求座屈歪は最大圧縮軸歪以上で所定の安全率を加味して決定するが、この例では、最大圧縮軸歪とほぼ同一の 1 % としている（S 7）。

#### 歪硬化特性取得工程

本実施の形態では歪硬化特性を取得する手段として、要求圧縮局部座屈歪  $\varepsilon_{req}$  に対応する応力歪座標上の仮想的な座屈点及び当該座屈点から歪値が離れた位置にある 1 の補助点を仮定したときに、仮想的な座屈点と前記 1 の補助点とを用いて複数点間の部分的な応力関係として与えるようにした。具体的には、下記に示す前記した (2.1) 式に基づいて歪硬化特性を与える。

$$H = \frac{\sigma_2}{\sigma_{req}} \geq 1 + \frac{9}{16} \varepsilon_{req} (\varepsilon_2 - \varepsilon_{req}) \left( \frac{D}{t} \right)^2 \quad \text{————— (2.1)}$$

上式の左辺の  $\varepsilon_{req}$  : 0.010、.015（補助点 2 は要求座屈歪 1.0% に 0.5% を追加して 1.5% のところに設定した。）、 $t$  : 12.2mm、 $D$  : 610.0mm を代入すると、

$$H = \frac{\sigma_2}{\sigma_{req}} \geq 1 + \frac{9}{16} 0.010 (0.015 - 0.010) \left( \frac{610.0}{12.2} \right)^2 = 1.07$$

#### 歪硬化特性をパイプの応力歪曲線の条件とする工程

歪硬化特性  $H = \sigma_2 / \sigma_{req} \geq 1.07$  であるから、応力歪曲線において、1%歪における応力と 1.5%歪における応力の比が 1.07 以上であれば、外径 610.0mm で管厚 12.2mm のパイプの圧縮局部座屈歪は 1%以上になる。

#### 判定工程

図 4 は判定工程を説明するためのフローチャートである。以下、図 4 に基づいて判定工程を説明する。パイプ条件設定工程（S 3）で設定された材料グレードは API 5L X80 であり、製造されるべきパイプは、API 5L X80 の規格最小降伏点（YSmin）551MPa、引張強度の許容幅 TSmin=620MPa、TSmax=827MPa を満足すると共に、上記歪硬化特性  $H \geq 1.07$  を満足させる必要がある。そこで、従来の製造実績から、候補となる製造方法 A、B、C、

D、E、F を選択し (S 5 1)、それぞれの応力歪曲線から要求座屈歪  $\varepsilon_{req}$  (1.0%) に対応する応力  $\sigma_{1.0\%}$ 、歪 (1.5%) に対応する応力  $\sigma_{1.5\%}$  を読み取り、 $H_{(1.0-1.5)}$  を計算する。このとき製造方法ごとに求められた  $H_{(1.0-1.5)}$  の値を表 2 に示す。

表 2 X80 の製造実績に基づく製造可否の判定

製造方法 (製造実績)	$\sigma_{1.0\%}$ (Mpa)	$\sigma_{1.5\%}$ (MPa)	$H_{(1.0-1.5)}$	判定
A	602	620	1.03	×
B	769	800	1.04	×
C	640	730	1.14	○
D	681	715	1.05	×
E	633	690	1.09	○
F	590	625	1.06	×
許容値	YSmin 551	TS 611~827	$H_{req}$ $\geq 1.07$	

表 2 に基づいて、求められた  $H_{(1.0-1.5)}$  の値が上記の歪硬化特性  $H$  よりも大きくなる製造方法があるかどうかを判定する (S 5 3)。求める製造方法があった場合は、当該製造方法を選択することによって、外径 610.0mm、管厚 12.2mm のパイプの局部座屈歪を 1%以上とすることができる。この例では、表 2 に示すように、製造方法 A、B、D、F では製造不可能であり、製造方法 C と E で製造可能であることが分かる。このように複数の製造方法が選択可能な場合にはより最適の方法、例えば製造安定性向上や製造コスト低減、あるいは耐座屈性能の向上が図られる方法を選択できる。この場合は、局部座屈歪がより大きくなるように  $H$  の値の大きい方法 C を選択し (S 5 5)、図 1 の S 1 5 へと進む。このとき選択された製造方法 C によれば、側方流動に対して要求される要求圧縮局部歪を満足するパイプが得られ、安全性を満たしている。しかも、このときの管厚  $t$  はパイプ条件設定工程でコストを考慮して決定されたものであり、経済性にも優れるものである。

S 5 3 の判定において、既存の製造方法の全てについて  $H_{(1.0-1.5)}$  が歪硬化特性  $H$  よりも小さい場合には、もっとも有力と思われる既存製造方法をもとにして、製造条件 (圧延温度、冷却温度) の調整若しくは化学成分の調整等を行って要求される歪硬化特性  $H$  を満たすかどうかを検討する (S 5 7)。製造条件の調整等によって  $H_{(1.0-1.5)}$  の値が上記の要求される歪硬化特性  $H$  よりも大きくできる場合には、その製造方法を選択して、図 1 の S 1

5へと進む。

なお、S 5 7における製造条件の調整方法としては、降伏棚がなく局部座屈歪の大きい鋼はフェライトと硬質相（ベイナトナイト、マルテンサイトなど）の2相組織からなるところ、熱間圧延終了後の冷却開始温度及び／又は冷却速度、さらには冷却停止温度を変化させることで硬質相の組織や硬質相分率を変化させることで歪硬化特性を変えることができる。また、化学成分の調整方法の例としては、例えばカーボン（C）やマンガン（Mn）の量を変えることによっても硬質相の組織や硬質相分率を変化させることができる。

既存の製造方法で歪硬化特性Hの条件を満たさず、かつ、製造条件の調整若しくは化学成分の調整等を行っても歪硬化特性Hの条件を満たさない場合には、製造不可と判定して、再びパイプ条件設定工程（S 3）に戻って、パイプの諸元を再設定して同様の処理を繰り返す。

判定工程（S 1 3）で製造可能と判定された場合には、決定された製造方法とパイプ諸元を発注者に提示して確認を取る（S 1 5）。発注者はパイプ諸元等を確認して了解すれば製造者に対して発注し、発注を受けた製造者は前記確定した製造方法を遵守して製造する（S 1 7）。製造されたパイプは発注者に納入されパイプラインが施工され（S 1 9）、施工後に操業が開始される（S 2 1）。

#### 実施の形態 2

本実施の形態は横ずれ断層に対して局部座屈しないための歪硬化特性決定方法に関するものである。本実施の形態の処理の流れは基本的には実施の形態 1 と同様であるので、重複する部分は簡潔に、異なる部分は詳細に説明する。

#### パイプ条件設定工程

実施の形態 1 と同様に、パイプラインにて輸送する加圧流体の輸送量及び輸送距離を前提として、操業コスト及び建設コストを最低にすべくパイプの直径D、管厚t及び輸送圧力を仮決める。

本実施の形態において仮決めされたパイプ諸元は、実施の形態 1 と同様であり、外径D=610.0mm、管厚t=12.2mm、材料グレードTS：API 5L X80 とし、設計内圧=10MPa と仮決めた。なお、API 5L X80 は、規格最小降伏点（YSmin）551MPa、引張強度の許容幅TSmin=620MPa、TSmax=827MPa である。

#### 最大圧縮軸歪算出工程

本実施の形態は横ずれ断層に関するものであり、図5に横ずれ断層によって変形される埋設パイプラインの一般概念を示す。この試算例では最大変位量  $\delta_{max}$  を実施の形態と同様に 2.0m とし、また、地盤のパネ特性も実施の形態1と同様に設定した。

有限要素解析プログラムで計算した結果のうち、パイプラインの最大圧縮曲げ歪（正符号）と最大引張曲げ歪（負符号）を図6に示す。図6に示すように、当該パイプラインに発生する最大曲げ歪は、断層面から約 5m 離れたところに発生しており、局部座屈を検討するうえで重要な最大圧縮曲げ歪は約 2.4%である。圧縮曲げ歪の 1/2 が圧縮局部歪であることから最大圧縮軸歪は約 1.2%である。

#### 要求圧縮局部座屈歪設定工程

最大圧縮軸歪が算出されると、次に、要求圧縮局部座屈歪を決定する。この例では、安全率 1.25 を考慮し、要求局部座屈歪  $\varepsilon_{req}$  を 1.5%と決定した。

#### 歪硬化特性取得工程

本実施の形態においても、実施の形態1と同様に(2.1)式に基づいて歪硬化特性を取得することとした。補助点についても、実施の形態1と同様に、要求座屈歪（1.5%）に 0.5%を追加して 2.0%のところに設定した。(2.1)式に必要な数値を入れて計算すると下記のようになる。

$$H = \frac{\sigma_2}{\sigma_{req}} \geq 1 + \frac{9}{16} \varepsilon_{req} (\varepsilon_2 - \varepsilon_{req}) \left( \frac{D}{t} \right)^2 = 1 + \frac{9}{16} 0.015 (0.020 - 0.015) \left( \frac{610.0}{12.2} \right)^2 = 1.11$$

#### 歪硬化特性をパイプの応力歪曲線の条件とする工程

$H = \sigma_2 / \sigma_{req} \geq 1.11$  であるから、応力歪曲線において、1.5%歪における応力と 2.0%歪における応力の比が 1.11 以上であれば、外径 610.0mm で管厚 12.2mm のパイプの圧縮局部座屈歪は 1.5%以上になる。

#### 判定工程

製造されるべきパイプは、材料グレード API 5L X80 の規格最小降伏点 (YSmin) 551MPa、引張強度の許容幅 TSmin=620MPa、TSmax=827MPa を満足しながら、上記歪硬化特性  $H \geq 1.11$  を満足させる必要がある。実施の形態1と同様に、従来の製造実績から候補となる製造方法 A、B、C、D、E、F を選択し、それぞれの応力歪曲線から要求座屈歪  $\varepsilon_{req}$  (1.5%) に対応する座屈応力  $\sigma_{req}$  と参照歪 (2.0%) に対応する応力 ( $\sigma_2$ ) を読み取り、

$H_{(1.5-2.0)}$ を計算する。このとき製造方法ごとに求められた $H_{(1.5-2.0)}$ の値を表3に示す。

表3 X80の製造実績に基づく製造可否の判定

製造方法 (製造実績)	$\sigma_{1.5\%}$ (Mpa)	$\sigma_{2.0\%}$ (MPa)	$H_{(1.5-2.0)}$	判定
A	620	626	1.01	×
B	800	816	1.02	×
C	730	825	1.13	○
D	715	744	1.04	×
E	690	745	1.08	×
F	625	656	1.05	×
許容値	YSmin 551	TS 611~827	$H_{req}$ $\geq 1.11$	

表3に示すように、求められた $H_{(1.5-2.0)}$ の値が上記の歪硬化特性 $H$ よりも大きくなる製造方法があれば、当該製造方法を選択することによって、外径 610.0mm、管厚 12.2mm のパイプの局部座屈歪を 1.5%以上とすることができる。表3に示すように、製造方法 A、B、D、E、F では製造不可能であり、製造方法 C によって製造可能であることが分かる。この、製造方法 C によれば、横ずれ断層に対して必要とされる要求圧縮局部歪を満足するパイプが得られ、安全性を満たしている。しかも、このときの管厚  $t$  はパイプ条件設定工程でコストを考慮して決定されたものであり、経済性にも優れるものである。

以後の処理については、実施の形態 1 と同様である。

以上のように、本実施の形態 1、2 によれば、パイプ条件設定工程でコストを考慮して決定された管厚を可及的に採用可能となり、安全性を満たすと共に経済性にも優れたパイプの材質設計が実現できる。

なお、上記実施の形態 1、2 で例に挙げた連続硬化型の応力歪曲線となる材料の場合には、要求座屈歪を任意に指定できるという効果を奏する。すなわち、降伏棚型の応力歪曲線となる材料の場合には、要求座屈歪を歪硬化領域以降の値で指定しなければならないのに対して、連続硬化型の応力歪曲線となる材料の場合には、このような制約なく任意の値で指定できるので、材質設計が簡便になる。

また、本実施の形態においては、図 1 の要求圧縮局部座屈歪設定工程 (S 7) ~ 判定工程 (S 13) に示すような従来パイプライン会社側では知り得なかった材質設計という概



念を提示したことで、パイプライン会社側からも施工コストをより有利にできるパイプを製造メーカーに要求することが可能になり、逆に、製造メーカーとしてもパイプライン会社側の条件を満たす範囲で製造コストを抑えたラインパイプの製造が可能になる。

なお、上記実施の形態 1, 2 においては、パイプ条件設定工程において曲げ局部座屈歪を要求条件として与えて曲げ局部座屈歪と圧縮局部座屈歪の定量的な関係から曲げ局部座屈歪を圧縮局部座屈歪に変換する場合を例に挙げて説明したが、圧縮局部座屈歪を要求条件として与える場合には、上記変換の工程がなくなるのみで、その他は上記実施の形態 1, 2 と同様の処理が可能である。

また、上記実施の形態 1, 2 においては、歪硬化特性が複数点間の部分的な応力関係として与えられる例を示したが、本発明はこれに限られるものではなく、要求圧縮局部座屈歪  $\varepsilon_{r_{0q}}$  に対応する応力歪座標上の仮想的な座屈点を仮定したときに、該仮想的な座屈点における応力歪曲線の接線の傾きとして与えることもできる。

さらに、上記実施の形態 1, 2 においては、パイプ条件設定工程においてパイプの満たすべき条件として材料グレード（材料規格）を用いた例を示したが、本発明はこれに限られるものではなく、パイプライン会社等の要求条件（YS、TS の範囲等）をパイプ条件設定工程におけるパイプの満たすべき条件として用いてもよい。

また、上記実施の形態 1, 2 においては、図 1 のフローチャートに示すように、輸送量及び輸送距離に基づくパイプ条件設定工程（S 1、S 3）及び最大圧縮軸歪算出工程（S 5）をパイプライン会社が行い、要求圧縮局部座屈歪設定工程（S 7）～判定工程（S 13）までを鉄鋼会社が行う例を挙げた。しかし、輸送量及び輸送距離に基づくパイプ条件設定工程（S 1、S 3）及び最大圧縮軸歪算出工程（S 5）をパイプライン会社以外、例えば鉄鋼会社あるいはコンサルティング会社が行ってもよい。また、要求圧縮局部座屈歪設定工程（S 7）～判定工程（S 13）を鉄鋼会社以外、例えばパイプライン会社あるいはコンサルティング会社が行ってもよい。

このように、図 1 のフローチャートに示された各工程を誰が行うかはビジネスの状況に応じて全く自由に選択することができる。

## 請求の範囲

1. パイプの直径 $D$ 、管厚 $t$ 、当該パイプの要求圧縮局部座屈歪 $\varepsilon_{req}$ を設定するパイプ条件設定工程と、

パイプ条件設定工程で設定した条件を満たすべきパイプの座屈点近傍における歪硬化特性を求める歪硬化特性取得工程と、

前記歪硬化特性を前記パイプの応力歪曲線が満たすべき条件とする工程と、を有することを特徴とするパイプの歪硬化特性決定方法。

2. パイプラインにて輸送する加圧流体の少なくとも輸送量及び輸送距離に基づいて、前記パイプラインに用いるパイプの直径 $D$ 、管厚 $t$ 及び輸送圧力を仮決めするパイプ条件設定工程と、

前記仮決めされた直径及び管厚を有するパイプに敷設線形を考慮してパイプラインを構造設計し、構造設計されたパイプラインに前記輸送圧力、地盤変位及び又は外力が作用したときに前記パイプに発生する最大圧縮軸歪を求める最大圧縮軸歪算出工程と、

前記最大圧縮軸歪に基づいて要求圧縮局部座屈歪 $\varepsilon_{req}$ を設定する要求圧縮局部座屈歪設定工程と、

前記直径 $D$ 、管厚 $t$ 及び要求圧縮局部座屈歪 $\varepsilon_{req}$ の各条件全てを満たすべきパイプの座屈点近傍における歪硬化特性を求める歪硬化特性取得工程と、

前記歪硬化特性を前記パイプの応力歪曲線が満たすべき条件とする工程と、を有することを特徴とするパイプの歪硬化特性決定方法。

3. パイプの直径 $D$ 、管厚 $t$ 、当該パイプの要求曲げ局部座屈歪を設定するパイプ条件設定工程と、

曲げ局部座屈歪と圧縮局部座屈歪の定量的な関係から、前記要求曲げ局部座屈歪を要求圧縮局部座屈歪 $\varepsilon_{req}$ に変換する局部座屈歪変換工程と、

前記直径 $D$ 、管厚 $t$ 及び要求圧縮局部座屈歪 $\varepsilon_{req}$ の各条件全てを満たすべきパイプの座屈点近傍における歪硬化特性を求める歪硬化特性取得工程と、

前記歪硬化特性を前記パイプの応力歪曲線が満たすべき条件とする工程と、を有することを特徴とするパイプの歪硬化特性決定方法。

4. パイプラインにて輸送する加圧流体の少なくとも輸送量及び輸送距離に基づいて、

前記パイプラインに用いるパイプの直径 $D$ 、管厚 $t$ 及び輸送圧力を仮決めするパイプ条件設定工程と、

前記仮決めされた直径及び管厚を有するパイプに敷設線形を考慮してパイプラインを構造設計し、構造設計されたパイプラインに前記輸送圧力、地盤変位及び又は外力が作用したときに前記パイプに発生する最大曲げ歪を求める最大曲げ歪算出工程と、

該最大曲げ歪に基づいて要求曲げ局部座屈歪を設定し、さらに曲げ局部座屈歪と圧縮局部座屈歪の定量的な関係から、要求曲げ局部座屈歪を要求圧縮局部座屈歪 $\varepsilon_{req}$ に変換する局部座屈歪変換工程と、

前記直径 $D$ 、管厚 $t$ 及び要求圧縮局部座屈歪 $\varepsilon_{req}$ の各条件全てを満たすべきパイプの座屈点近傍における歪硬化特性を求める歪硬化特性取得工程と、

前記歪硬化特性を前記パイプの応力歪曲線が満たすべき条件とする工程と、を有することを特徴とするパイプの歪硬化特性決定方法。

5. 歪硬化特性は、応力歪座標において要求圧縮局部座屈歪 $\varepsilon_{req}$ に対応する仮想的な座屈点を仮定したときに、該仮想的な座屈点における応力歪曲線の接線の傾きを基準として与えられることを特徴とする請求項1乃至4の何れかに記載のパイプの歪硬化特性決定方法。

6. 歪硬化特性を $H$ 、接線の傾きを $E_{Treq}$ としたときに、歪硬化特性 $H$ が下式を満たすことを特徴とする請求項5記載のパイプの歪硬化特性決定方法。

$$H = \frac{E_{Treq}}{\sigma_{req}} \geq \frac{9}{16} \varepsilon_{req} \left( \frac{D}{t} \right)^2$$

但し、 $\sigma_{req}$ は応力歪曲線上で $\varepsilon_{req}$ に対応する点の応力である。

7. 歪硬化特性は、要求圧縮局部座屈歪 $\varepsilon_{req}$ に対応する応力歪座標上の仮想的な座屈点及び当該座屈点から歪値が離れた位置にある1以上の補助点を仮定したときに、前記仮想的な座屈点と前記1以上の補助点とを用いて複数点間の部分的な応力関係として与えられることを特徴とする請求項1乃至4の何れかに記載のパイプの歪硬化特性決定方法。

8. 複数点間の部分的な応力関係が、下式を満たすことを特徴とする請求項7記載のパイプの歪硬化特性決定方法。

$$H = \frac{\sigma_2}{\sigma_{req}} \geq 1 + \frac{9}{16} \varepsilon_{req} (\varepsilon_2 - \varepsilon_{req}) \left( \frac{D}{t} \right)^2$$

但し、

$\varepsilon_{req}$  : 要求圧縮局部座屈歪

$\sigma_{req}$  : 応力歪曲線上で  $\varepsilon_{req}$  に対応する点の応力

$\varepsilon_2$  : 補助点における歪

$\sigma_2$  : 応力歪曲線上で  $\varepsilon_2$  に対応する点の応力

9. 複数点間の部分的な応力関係が、下式を満たすことを特徴とする請求項7記載のパイプの歪硬化特性決定方法。

$$H = \frac{2\sigma_{req} + (\sigma_2 - \sigma_1)}{2\sigma_{req}} \geq \left\{ 1 + \frac{9}{32} (\varepsilon_2 - \varepsilon_1) \varepsilon_{req} \left( \frac{D}{t} \right)^2 \right\}$$

但し、

$\varepsilon_1, \varepsilon_2$  : 座屈点を挟む補助点における歪

$\sigma_{req}$  : 応力歪曲線上で  $\varepsilon_{req}$  に対応する点の応力

$\sigma_1, \sigma_2$  : 応力歪曲線上で  $\varepsilon_1, \varepsilon_2$  に対応する点の応力

10. 複数点間の部分的な応力関係が、下式を満たすことを特徴とする請求項7記載のパイプの歪硬化特性決定方法。

$$H = \frac{\sigma_2}{\sigma_{req}} \geq \left\{ 1 + \frac{9}{16} \log_e \left( \frac{\varepsilon_2}{\varepsilon_{req}} \right) \varepsilon_{req}^2 \left( \frac{D}{t} \right)^2 \right\}$$

但し、

$\varepsilon_2$  : 補助点における歪

$\sigma_{req}$  : 応力歪曲線上で  $\varepsilon_{req}$  に対応する点の応力

$\sigma_2$  : 応力歪曲線上で  $\varepsilon_2$  に対応する点の応力

11. 複数点間の部分的な応力関係が、下式を満たすことを特徴とする請求項7記載のパイプの歪硬化特性決定方法。

$$H = \frac{\sigma_2 + \sigma_{req}}{\sigma_1 + \sigma_{req}} \geq \left\{ 1 + \frac{9}{16} \log_e \left( \frac{\varepsilon_2 + \varepsilon_{req}}{\varepsilon_1 + \varepsilon_{req}} \right) \varepsilon_{req}^2 \left( \frac{D}{t} \right)^2 \right\}$$

但し、

$\varepsilon_1, \varepsilon_2$  : 座屈点を挟む補助点における歪

$\sigma_{req}$  : 応力歪曲線上で  $\varepsilon_{req}$  に対応する点の応力

$\sigma_1, \sigma_2$  : 応力歪曲線上で  $\varepsilon_1, \varepsilon_2$  に対応する点の応力

12. 歪硬化特性に加え、材料の規格あるいは要求条件によって定まる降伏応力範囲及び引張応力範囲をパイプの応力歪曲線が満たすべき条件とすることを特徴とする請求項1乃至11の何れかに記載のパイプの歪硬化特性決定方法。

13. 歪硬化特性取得工程で取得された歪硬化特性をパイプの応力歪曲線が満たすべき条件としたときに当該条件を満たす応力歪曲線の示す機械的性質を有するパイプが製造可能か否かを判定する判定工程と、

該判定工程において製造可能と判定された場合には、設定あるいは仮決めされた前記パイプの直径及び管厚を採用し、製造不可能と判定された場合には、再びパイプ条件設定工程からやり直すことを特徴とする請求項1乃至12の何れかに記載のパイプの歪硬化特性決定方法。

14. 判定工程は、既存の製造方法によって製造した場合についての判定と、既存の製造方法では適切なものがない場合に材料の化学成分設計及び／又はプロセス設計を変更した製造方法についての判定と、を含むことを特徴とする請求項13記載のパイプの歪硬化特性決定方法。

15. 歪硬化特性に加え、連続硬化型であることをパイプの応力歪曲線が満たすべき条件とすることを特徴とする請求項1乃至14の何れかに記載のパイプの歪硬化特性決定方法。

16. 請求項1乃至15の何れかに記載のパイプの歪硬化特性決定方法によりパイプの材質設計を行う材質設計工程と、

該材質設計工程により得られたパイプの応力歪曲線が満たすべき条件に基づいて、材料の化学成分設計及び又はプロセス設計を行う工程と、を備えたことを特徴とするパイプの製造方法。

17. 請求項16記載のパイプの製造方法に従って製造されたことを特徴とするパイプ。

18. 請求項17記載のパイプを接続して構成されたことを特徴とするパイプライン。

図1

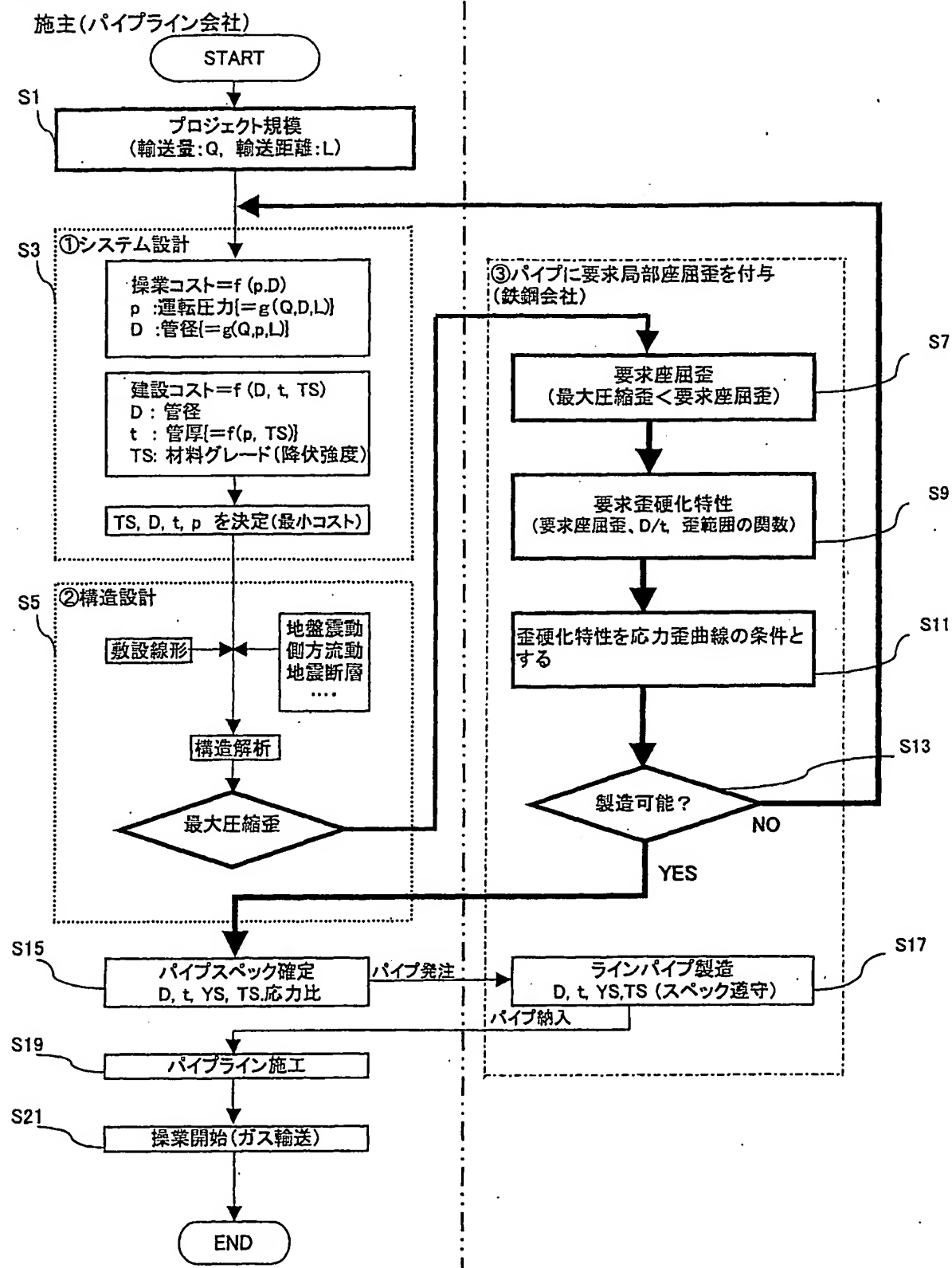


図 2

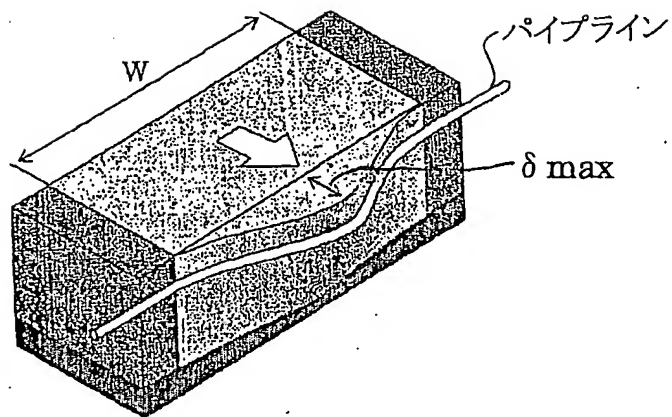


図 3

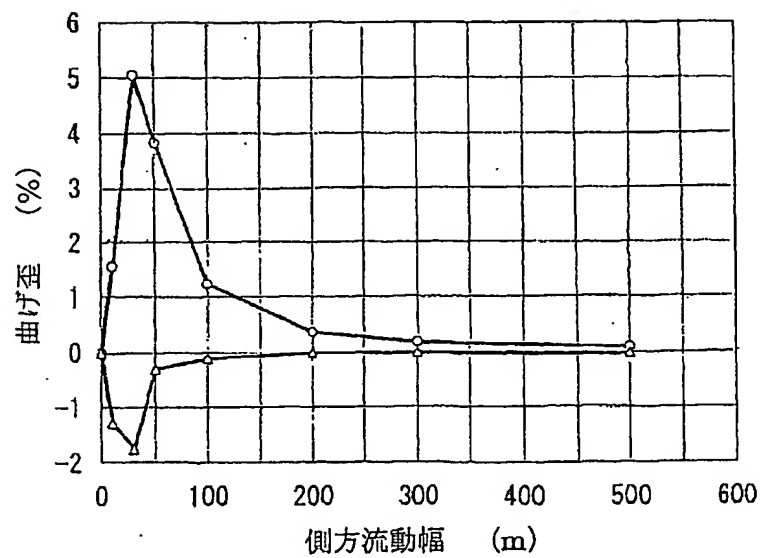




図4

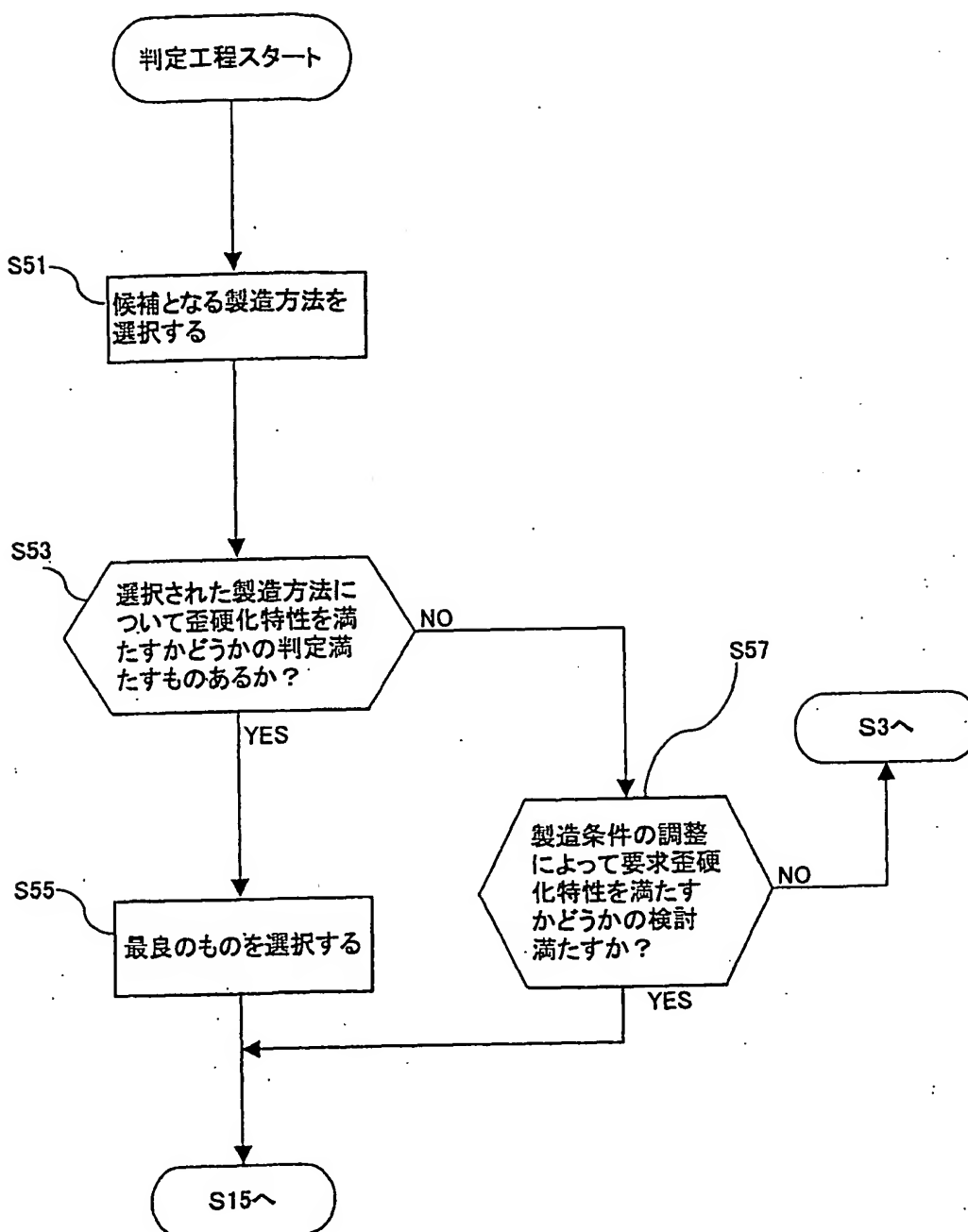


図 5

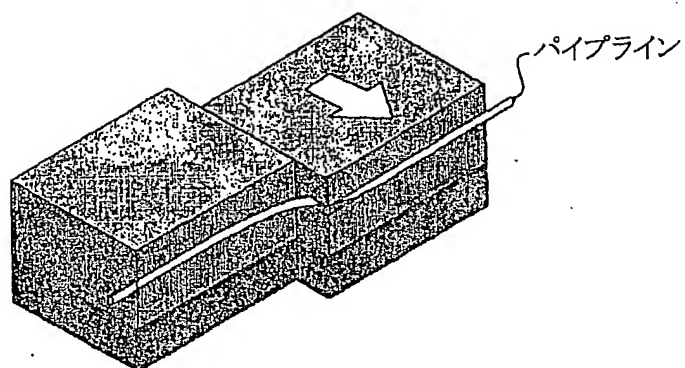


図 8

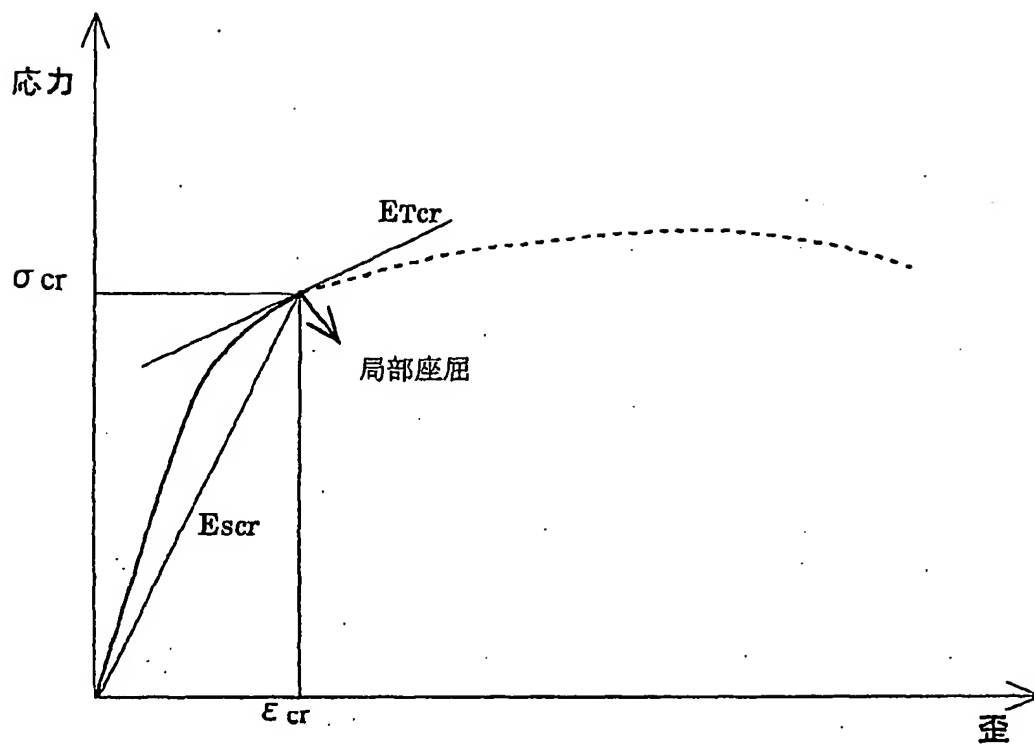


図 9

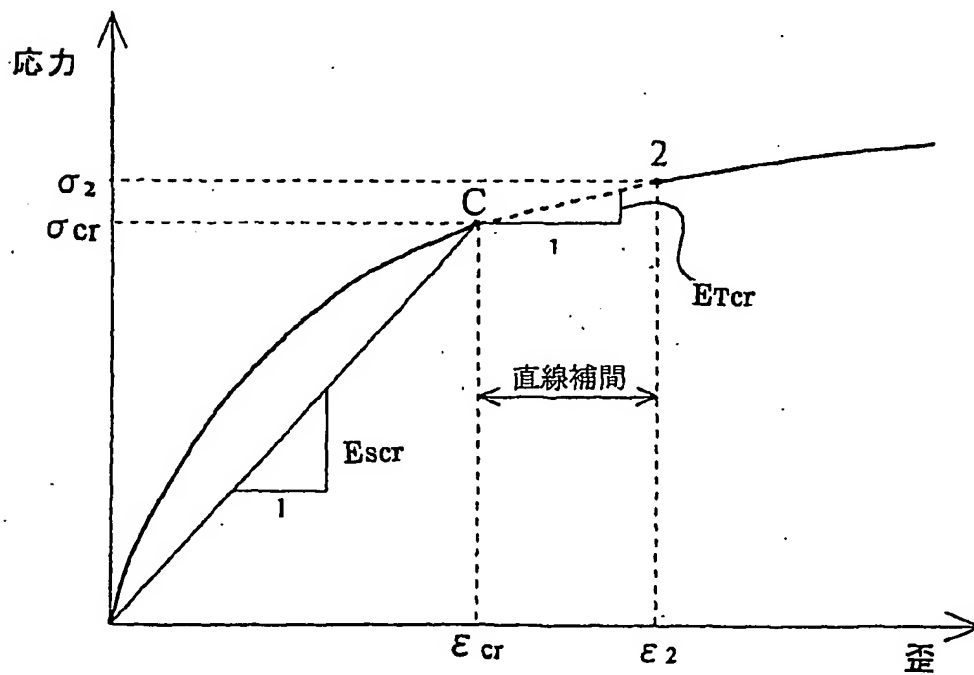


図 6

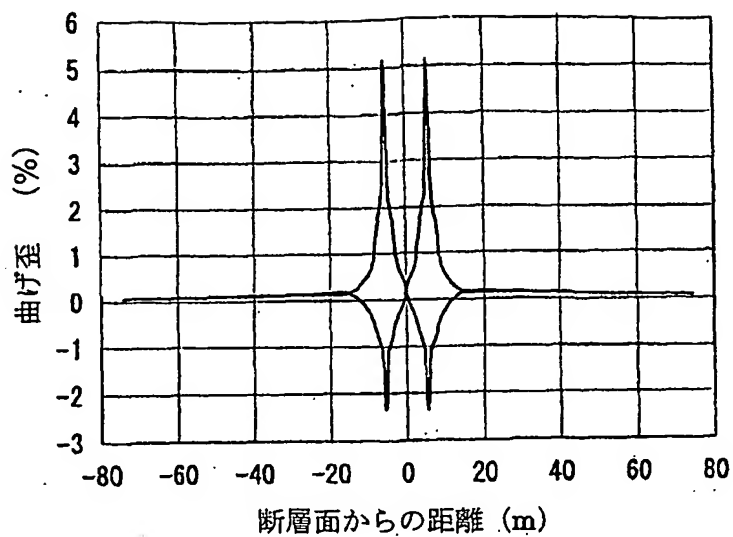


図 7

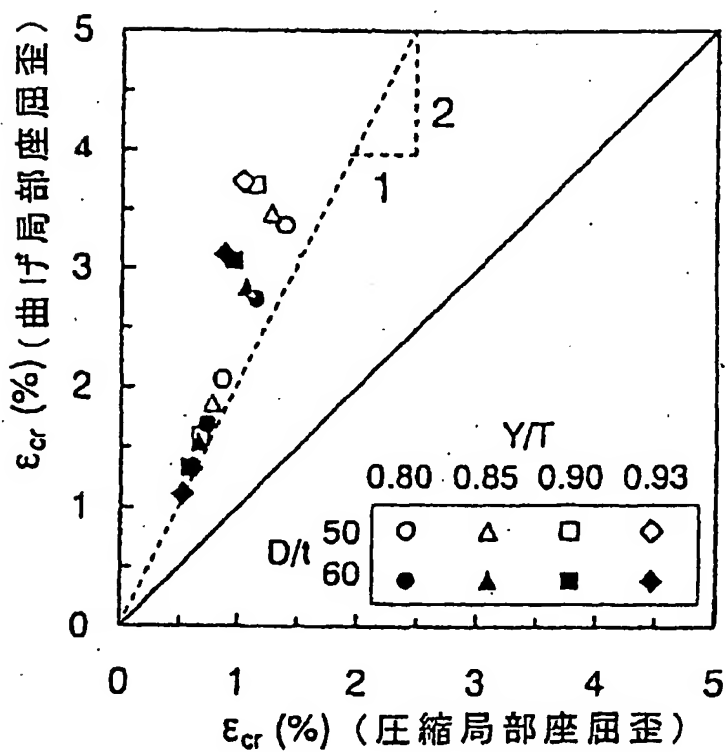


図 1 0

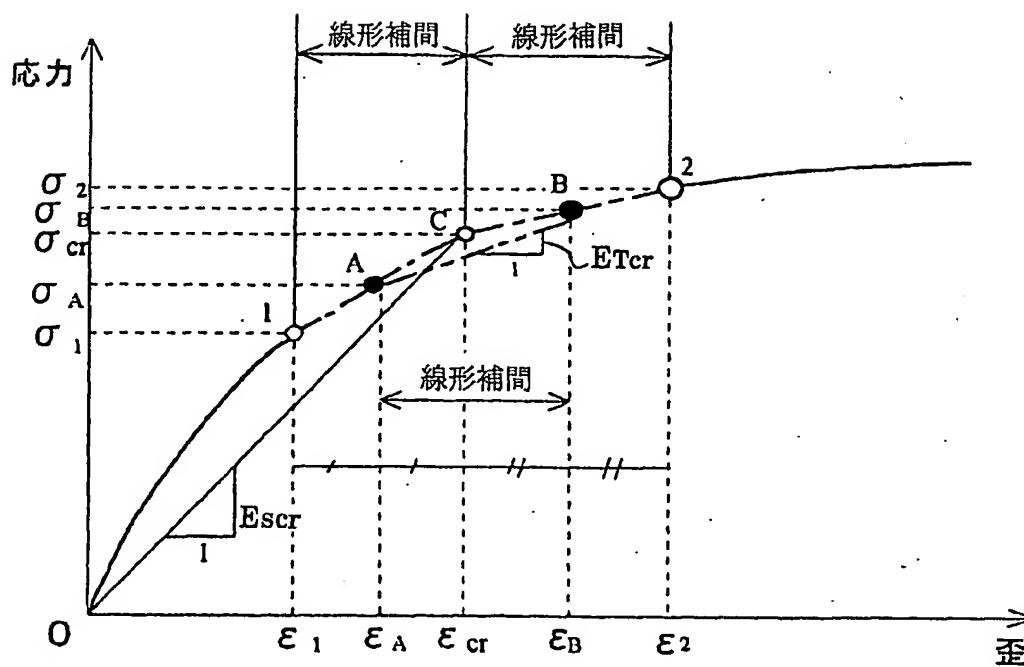


図 1 1

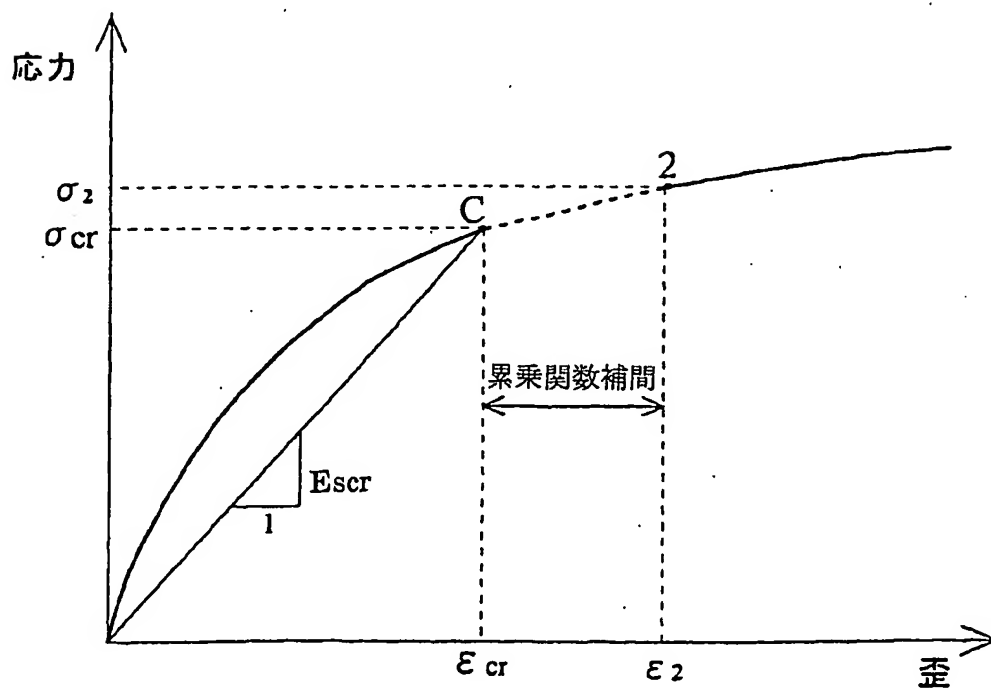


図 1 2

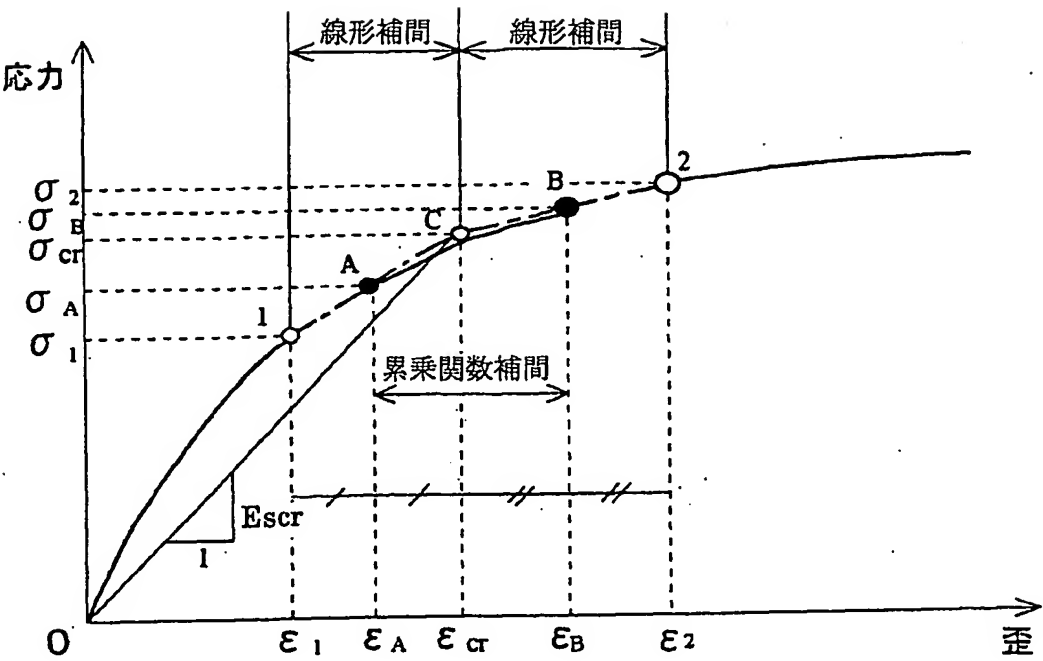


図 1 4

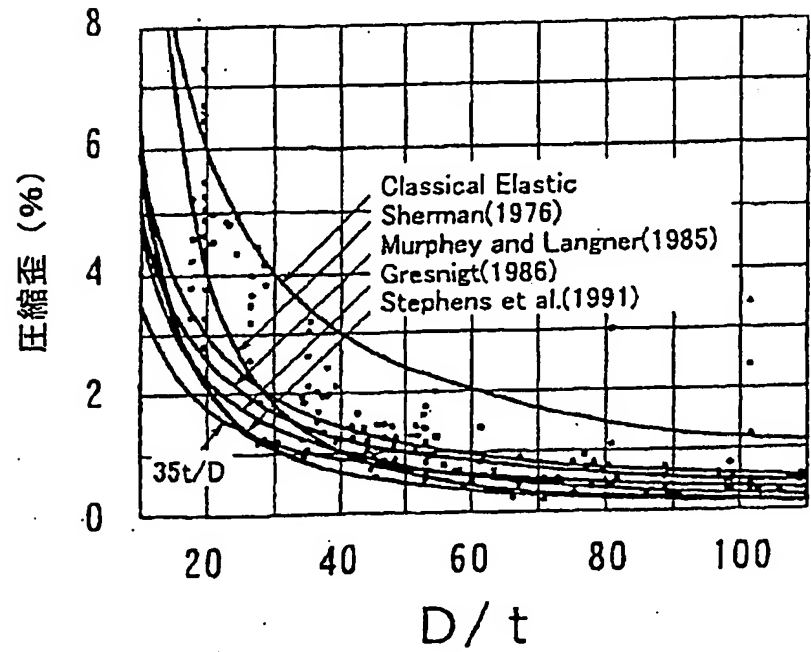


図13

施主(パイプライン会社)

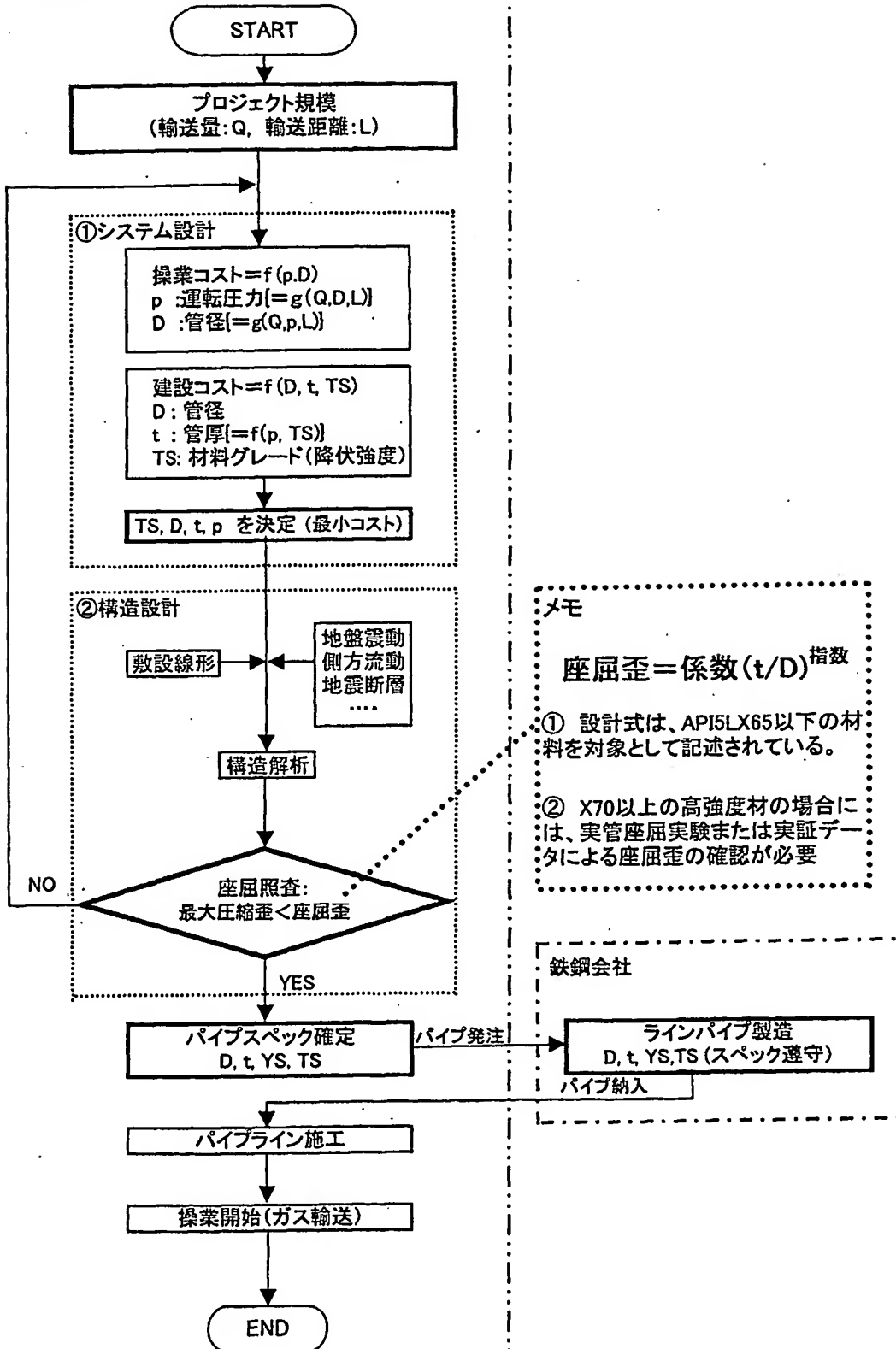
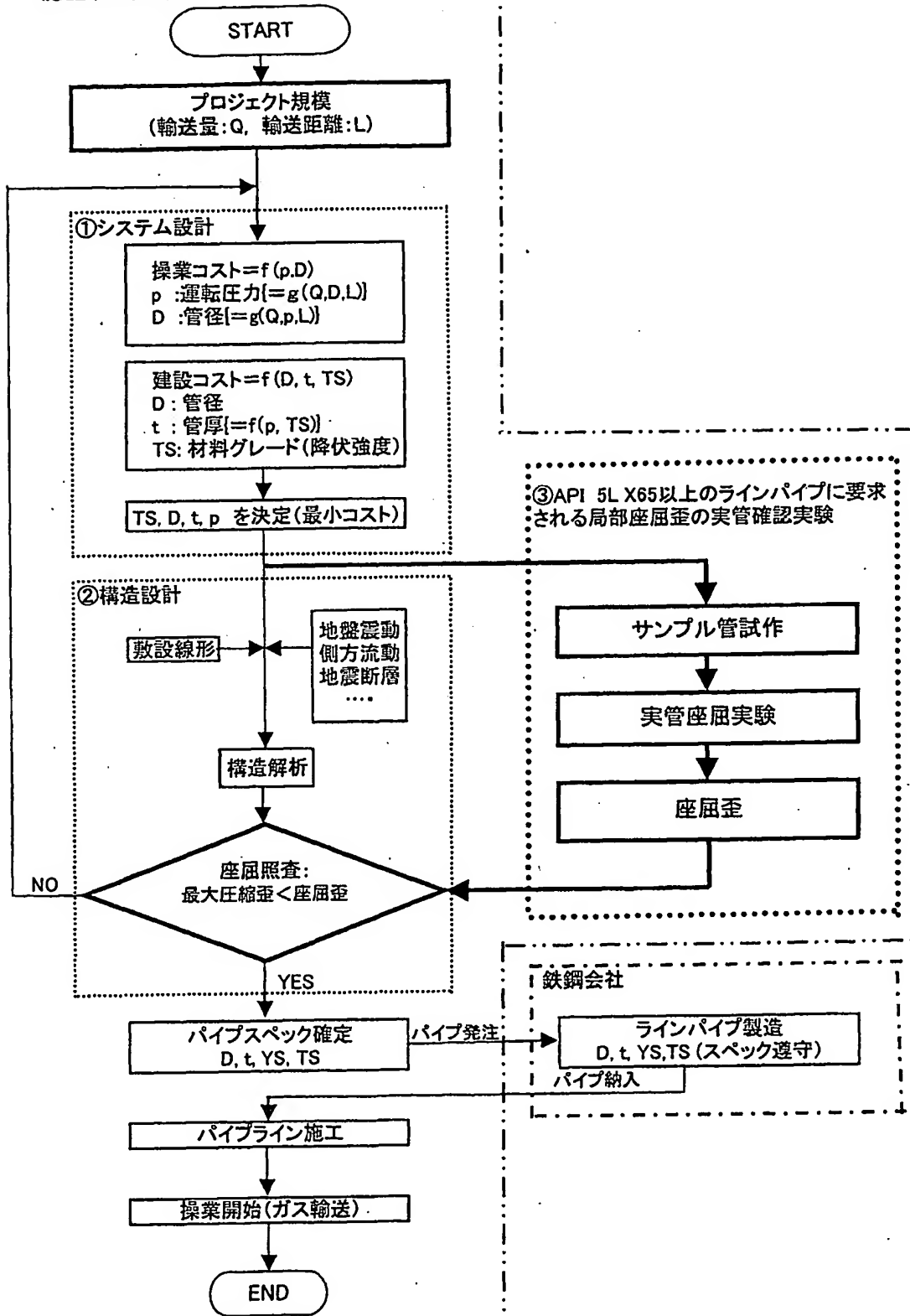


図15

施主(パイプライン会社)





# INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2004/018858

## A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

Int.Cl<sup>7</sup> F16L9/02

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

## B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

Int.Cl<sup>7</sup> F16L9/00-11/18, G06F17/00-17/18

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Jitsuyo Shinan Koho 1922-1996 Toroku Jitsuyo Shinan Koho 1994-2005

Kokai Jitsuyo Shinan Koho 1971-2005 Jitsuyo Shinan Toroku Koho 1996-2005

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

## C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	JP 8-109994 A (Osaka Gas Co., Ltd.), 30 April, 1996 (30.04.96), Page 2, left column, lines 2 to 45 (Family: none)	16-18

☐ Further documents are listed in the continuation of Box C.

☐ See patent family annex.

\* Special categories of cited documents:

"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date

"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art

"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search  
28 March, 2005 (28.03.05)

Date of mailing of the international search report  
12 April, 2005 (12.04.05)

Name and mailing address of the ISA/  
Japanese Patent Office

Authorized officer

Facsimile No.

Telephone No.

**INTERNATIONAL SEARCH REPORT**

International application No.

PCT/JP2004/018858

**Box No. II Observations where certain claims were found unsearchable (Continuation of item 2 of first sheet)**

This international search report has not been established in respect of certain claims under Article 17(2)(a) for the following reasons:

1. ☒ Claims Nos.: 1-15

because they relate to subject matter not required to be searched by this Authority, namely:

Claims 1-15 only indicate the technique and relational expression of the method of determining pipe strain hardening characteristics and relate to the theory of science, and thus relate to a subject matter which this International Searching Authority (continued to extra sheet)

2. ☐ Claims Nos.:

because they relate to parts of the international application that do not comply with the prescribed requirements to such an extent that no meaningful international search can be carried out, specifically:

3. ☐ Claims Nos.:

because they are dependent claims and are not drafted in accordance with the second and third sentences of Rule 6.4(a).

**Box No. III Observations where unity of invention is lacking (Continuation of item 3 of first sheet)**

This International Searching Authority found multiple inventions in this international application, as follows:

1. ☐ As all required additional search fees were timely paid by the applicant, this international search report covers all searchable claims.
2. ☐ As all searchable claims could be searched without effort justifying an additional fee, this Authority did not invite payment of any additional fee.
3. ☐ As only some of the required additional search fees were timely paid by the applicant, this international search report covers only those claims for which fees were paid, specifically claims Nos.:
4. ☐ No required additional search fees were timely paid by the applicant. Consequently, this international search report is restricted to the invention first mentioned in the claims; it is covered by claims Nos.:

**Remark on Protest**

- ☐ The additional search fees were accompanied by the applicant's protest.
- ☐ No protest accompanied the payment of additional search fees.

**INTERNATIONAL SEARCH REPORT**

International application No.

PCT/JP2004/018858

Continuation of Box No.II-1 of continuation of first sheet (2)

is not required to search under the provisions of Article 17(2)(a)(i) of the PCT and Rule 39.1(i) of the regulations under the PCT.

## A. 発明の属する分野の分類 (国際特許分類 (IPC))

Int. Cl<sup>7</sup> F16L 9/02

## B. 調査を行った分野

## 調査を行った最小限資料 (国際特許分類 (IPC))

Int. Cl<sup>7</sup> F16L 9/00 - 11/18, G06F 17/00 - 17/18

## 最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの

日本国実用新案公報 1922-1996年

日本国公開実用新案公報 1971-2005年

日本国登録実用新案公報 1994-2005年

日本国実用新案登録公報 1996-2005年

## 国際調査で使用した電子データベース (データベースの名称、調査に使用した用語)

## C. 関連すると認められる文献

引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求の範囲の番号
A	JP 8-109994 A (大阪瓦斯株式会社) 1996. 04. 30 第2頁左欄第2行-第45行 (ファミリーなし)	16-18

☐ C欄の続きにも文献が列挙されている。☐ パテントファミリーに関する別紙を参照。

## \* 引用文献のカテゴリー

「A」 特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの

「E」 国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの

「L」 優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献 (理由を付す)

「O」 口頭による開示、使用、展示等に言及する文献

「P」 国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願

の日の後に公表された文献

「T」 国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と矛盾するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの

「X」 特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの

「Y」 特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの

「&amp;」 同一パテントファミリー文献

国際調査を完了した日

28. 03. 2005

国際調査報告の発送日

12. 4. 2005

国際調査機関の名称及びあて先

日本国特許庁 (ISA/JP)

郵便番号100-8915

東京都千代田区霞が関三丁目4番3号

特許庁審査官 (権限のある職員)

谷口 耕之助

3M

9340

電話番号 03-3581-1101 内線 3377

## 第Ⅱ欄 請求の範囲の一部の調査ができないときの意見（第1ページの2の続き）

法第8条第3項（PCT第17条(2)(a)）の規定により、この国際調査報告は次の理由により請求の範囲の一部について作成しなかった。

1. ☒ 請求の範囲 1-15 は、この国際調査機関が調査をすることを要しない対象に係るものである。つまり、請求の範囲 1-15 は、パイプの歪硬化特性決定方法の手法及び関係式を示したのみのもので、科学の理論に関するものであって、PCT第17条(2)(a)(i)及びPCT規則39.1(i)の規定により、この国際調査機関が国際調査を行うことを要しない対象に係るものである。
2. ☐ 請求の範囲 \_\_\_\_\_ は、有意義な国際調査をすることができる程度まで所定の要件を満たしていない国際出願の部分に係るものである。つまり、
3. ☐ 請求の範囲 \_\_\_\_\_ は、従属請求の範囲であってPCT規則6.4(a)の第2文及び第3文の規定に従って記載されていない。

## 第Ⅲ欄 発明の単一性が欠如しているときの意見（第1ページの3の続き）

次に述べるようにこの国際出願に二以上の発明があるときの国際調査機関は認めた。

1. ☐ 出願人が必要な追加調査手数料をすべて期間内に納付したので、この国際調査報告は、すべての調査可能な請求の範囲について作成した。
2. ☐ 追加調査手数料を要求するまでもなく、すべての調査可能な請求の範囲について調査することができたので、追加調査手数料の納付を求めなかった。
3. ☐ 出願人が必要な追加調査手数料を一部のみしか期間内に納付しなかったため、この国際調査報告は、手数料の納付のあった次の請求の範囲のみについて作成した。
4. ☐ 出願人が必要な追加調査手数料を期間内に納付しなかったため、この国際調査報告は、請求の範囲の最初に記載されている発明に係る次の請求の範囲について作成した。

追加調査手数料の異議の申立てに関する注意

- ☐ 追加調査手数料の納付と共に出願人から異議申立てがあった。
- ☐ 追加調査手数料の納付と共に出願人から異議申立てがなかった。